

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta textilní



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Liberec 2006

**Lukáš Ruffer**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta textilní

Studijní program: Textil

Studijní obor: TŘOV

**Metody měření koeficientu tření plošných textilií  
v textilním průmyslu**

**Frictional coefficient of fabrics  
-measurement methods at textile industry**

**Bakalářská práce  
KOD-209**

Autor: **Lukáš Ruffer**  
Vedoucí BP práce: Ing. Lea Fárská  
Konzultant:  
Počet stran: 54  
Počet obrázků: 37  
Počet grafů: 2

**V Liberci 1. 3. 2006**

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum .....

Podpis .....

## Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu bakalářské práce Ing. Lee Farské za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Samozřejmě mé díky patří také celé mé rodině za všestrannou podporu při mém vysokoškolském studiu.

# **Metody měření koeficientu tření plošných textilií v textilním průmyslu**

## ***ABSTRAKT***

Tato práce se zabývá popisem metod k měření koeficientu tření a stick and slip efektu u plošných textilií. V první části seznamuje čtenáře s pojmem tření a historií jeho měření. Rozděluje metody podle druhu tření. Vysvětluje vznik tření a jeho důležitost v textilní oblasti. Dále popisuje jednotlivé metody, zdůrazňuje jejich výhody a nevýhody s ohledem na použití v textilním průmyslu. Popisuje přístroje k měření koeficientu tření od jednoduchých tribometrů, jako je nakloněná rovina, až po automatické stroje dostupné na světovém trhu. Ukazuje možnosti a popis schémat k měření tření a stick and slip efektu při použití dynamometru. V závěru analyzuje využití získaných poznatků.

## ***ABSTRACT***

This work deals with characterization methods to measurement coefficient of friction and stick and slip effect in surface textile. In a first parts of work it gives information to readers about notions of friction and history of its measurement. This work gives information about beginings of friction and its usefulness in the field of textile industry. As next it describes individual methods. Exaggerate theirs advantages and disadvantages with reference of use in the textile industry. It describes device to measurement of friction coefficient since simple tribometr like is inclined plane after automatic machinery accessible in world's market. Shows the possibilities and description of chart for measurement of friction and stick and slip effect while using dynamometer. In the end it analyses development of obtained information.

## **Klíčová slova-Keywords:**

Stick and slip efekt-Stick and slip effect

Třecí síla-Friction force

Koeficient tření-Friction coefficient

Tribometr-Tribometer

Metody měření-Methods of Measurement

Nakloněná rovina-Inclined Plane

## Obsah:

1	<b>Historie tření</b> .....	12
2	<b>Definice a klasifikace tření:</b> .....	13
3	<b>Makroskopické zákony:</b> .....	14
4	<b>Rozdělení tření:</b> .....	15
4.1	Tření vlečné: .....	15
4.2	Tření valivé: .....	17
4.3	Tření opásáním: .....	19
5	<b>Tření v textilu:</b> .....	20
6	<b>Koeficient tření:</b> .....	21
7	<b>Stick and slip efekt:</b> .....	24
8	<b>Metody měření koeficientu tření u plošných textilií:</b> .....	27
8.1	Dvě stýkající se roviny třecích se těles se vůči sobě pohybují posuvným pohybem: .....	27
8.2	Dvě stýkající se roviny třecích se těles, z nichž jedna klouže po druhé, rotující rovině: .....	36
8.3	Rovina třecího tělesa klouže proti směru rotujícího válce (válců): .....	37
8.4	Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu:.....	37
9	<b>Měřicí automatické stroje na měření koeficientu tření u plošných textilií:</b> ....	40
9.1	Přístroj k měření tření KATO TECH CO.,LTD. (KES-SE): .....	40
9.2	Měřicí přístroj KATO TECH CO., LTD (KES-FB4-AUTO-A): .....	41
9.3	Přístroj na měření tření IDM C0008:.....	44
9.4	Přístroj na měření tření IDM C0041:.....	45
9.5	Přístroj na měření tření IDM C0045:.....	47
9.6	Přístroj na měření tření Twing-albert model 225-1: .....	48

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

$f, \mu$	$[1]$	koeficient tření
$F_b, T$	$[N]$	třecí síla
$F_n, N$	$[N]$	normálová síla, kolmá tlaková síla
$f_s$	$[1]$	statický koeficient tření
$f_k$	$[1]$	dynamický koeficient tření
$S$	$[m^2]$	skutečná styčná plocha
$A_i$	$[m^2]$	mikroskopické dotykové plošky
$\bar{\sigma}$	$[Pa]$	střední napětí v tlaku
$\bar{\tau}$	$[Pa]$	střední tečné napětí
$m$	$[kg]$	hmotnost
$F$	$[N]$	tažná síla
$G$	$[N]$	gravitační síla
$\zeta$	$[m]$	rameno valivého odporu
$r$	$[m]$	poloměr průřezu tělesa
$F_0$	$[N]$	napínací síla před tělesem
$f_a$	$[1]$	součinitel tření opásáním
$\alpha$	$[rad]$	úhel opásání
$\alpha_0$	$[rad]$	úhel nakloněné roviny
$F_s$	$[N]$	statický třecí odpor
$F_k$	$[N]$	kinetický třecí odpor
$\Delta_s$	$[m]$	změna polohy
$A_m$	$[N]$	amplituda funkce
$r_0$	$[m]$	vlnová délka, rozteč jednotlivých skoků
$S$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhost pružiny
$\eta$	$[Pa \cdot s]$	dynamická viskozita
$R$	$[N]$	reakce podpory
$E$	$[Pa]$	modul pružnosti v tahu
$M$	$[N \cdot m]$	moment síly
$M_v$	$[N \cdot m]$	moment valivého tření
$v_s$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost skluzu



$v_d$	$[m*s^{-1}]$	rychlost pohonu
$v$	$[m*s^{-1}]$	rychlost
$v_m$	$[m*s^{-1}]$	rychlost vytvořená závažím
$P$	$[N]$	standardní zatížení snímače
$L_{max}$	$[mm]$	posuv po povrchu vzorku
$MMD$	$[I]$	střední odchylka koeficientu tření

$[lb]$ .....jednotka zatížení-libra, odpovídá hodnotě 4,448  $[N]$

ASTM..... American Society For Testing And Materials-Americké sdružení pro testování a materiály

ISO-International Organization for Standardization-Mezinárodní organizace pro standardizaci

ISO 15359... norma stanovující statický a dynamický koeficient tření metodou nakloněné roviny pro papír a lepenku

## Úvod:

Cílem této práce je popis metod měření koeficientu tření a stick and slip efektu u plošných textilií v textilním průmyslu. V první části se práce pokusí vysvětlit čtenáři všeobecně pojmy „tření“ a „stick and slip efekt“, příčiny vzniku těchto jevů a jejich fyzikální podstatu. Dále chce popsat, jakými zákony a rovnicemi se tření definuje a jak se dělí. Zjistit, kteří vědci a výzkumníci se tímto jevem v minulosti zabývali a k čemu dospěli. Zdůraznit důležitost tření v oblasti textilního průmyslu, poukázat na změny v chování textilních výrobků při různých hodnotách koeficientu tření a popsat problémy, které mohou při měření tohoto jevu vznikat.

V hlavní části se bude práce zabývat popisem jednotlivých metod měření koeficientu tření u plošných textilií. Slovní popis fyzikálního principu metod doplní grafickými schémata a pokud to bude možné, i grafickým popisem veličin, které v měření figurují. Ke kreslení schémat poslouží nejvíce kreslicí program AutoCad. Práce se pokusí vyhodnotit výhody a nevýhody použití vybraných metod měření a jejich možné vylepšení. Prozkoumá, jaké přístroje, dostupné na světové trhu, slouží k měření koeficientu tření, zda jsou konstruovány k určování koeficientu tření právě u plošných textilií, a jestli ne, jak by se dali k tomuto měření použít. Zvláštní pozornost chce věnovat normám, které se zabývají měřením tření v textilním průmyslu. V závěru práce chce autor zhodnotit situaci a další vývoj v této oblasti.

# 1 Historie tření

Tření je jedním z nejstarších jevů pozorovaných člověkem. Již asi před 500 000 roky využil prehistorický člověk tepla vznikajícího třením dřev k rozdělení ohně. Lidé už v nejstarších dobách hledali způsob, jak zmenšit námahu potřebnou k tažení nebo smykání předmětů. Povšimli si toho, že po dešti mokrá povrch poskytoval možnost vynakládat menší sílu. První historickou zmínkou dokládající tuto znalost je nástěnný reliéf v egyptské jeskyni El-berša, zobrazující dopravu 6,75 metrů vysoké sochy Džehutihotepe z XII. dynastie střední říše asi 1880 let před naším letopočtem. Výjev představuje sochu taženou na dřevěných saních, před něž je rozléváno mazivo. Podobný obraz s nedoloženým časovým údajem (asi 7 století před naším letopočtem) je znázorněn na asyrském basreliéfu, který byl objeven v roce 1845 a je dnes majetkem londýnského muzea. S vynálezem kola sice lidé zmenšili tření mezi taženým předmětem a povrchem země, ale vznikl problém, jak odstranit čepové tření mezi kolem a hřídelí. Použili k tomu živočišného tuku. Nejstarší doklad takového počínání je z roku 1400 před naším letopočtem. Stopa tuku byla nalezena na hřídeli kola dřevěného vozíku v egyptské hrobce. Tření má dlouhodobou tradici, od středověku je možno hovořit o prvních teoriích tření, ke kterým patří především práce Leonarda da Vinci (1452-1519), který podle vlastních experimentů došel k poznatku že:

*-velikost třecí síly je úměrná kolmému zatížení a nezávisí na velikostech ploch třecích těles*

*-součinitel tření pro všechny kovy je stejný a dosahuje 0,25*

Téměř o 200 let později francouzský inženýr Amontons (1633-1705) formuluje stejné poznatky a tím zakládá geometricko-mechanickou teorii tření. V roce 1699 definuje první zákon tření:

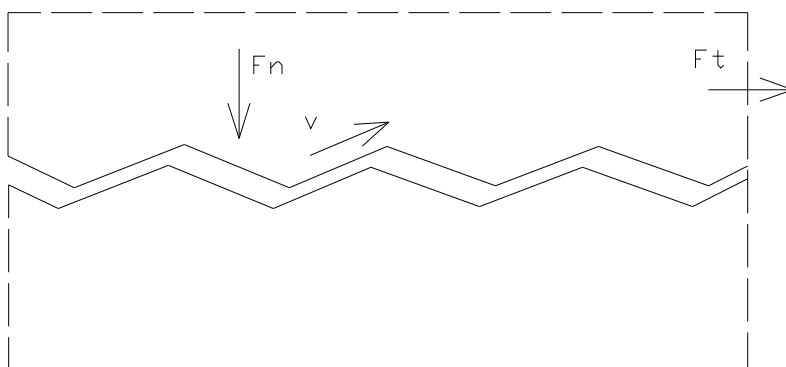
$$f=F_t/F_n \tag{1}$$

Který později přechází do literatury jako Coulombův zákon, i když Coulomb až později v roce 1779 nachází svůj dvojdílný výraz pro třecí sílu. V roce 1729 Desagulier publikuje práci, ve které vysvětluje tření podle molekulárních vazeb. V průběhu dalších 200 let se tyto teorie vyvíjejí a navzájem ovlivňují. Hlavně zásluhou badatelů jako byl Hardy, Tomlison, Ten Bosch, Göttnér, Prandtl a další. Ve 40. a 50. letech našeho století

se tyto práce na základě rozsáhlých experimentálních prací sjednotily a současný stav poznatků dospěl do stádia, kdy se dokázala a uznává dvojí mechanicko-molekulárně-adhezní podstata tření. Zásahu na tom měli badatelé Ernst a Merhart, Kragelsky, Bowden a Tabor. Nejmladší teorií v této oblasti je energetická analýza tření, kterou reprezentuje práce Kuzněcova, Daviese, Troska, Kosteckého a Fleischera. [3]

## 2 Definice a klasifikace tření:

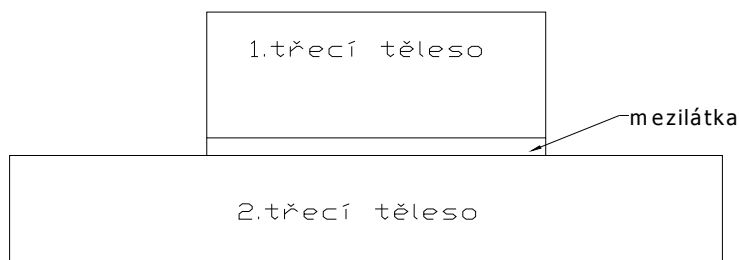
Definice tření se prakticky nezměnila od doby Leonarda da Vinci, zpřesnily se však názory na jeho druhy. Dá se konstatovat, že tření je odpor proti pohybu, vznikající mezi dvěma tělesy v oblasti jejich doteku v tečném směru k nim. Podle klasické mechanické teorie je odpor proti pohybu způsoben tím, že pohybující se těleso je potřeba pozvedávat do úrovně nejvyšších výčnělků na povrchu drsné podložky.



### 1 Vliv reliéfu povrchu na třecí odpor

Za klidu jsou pak obě tělesa do sebe zaklíněna povrchovými nerovnostmi. Velmi často bývá mezi tělesy obsaženo plynné či kapalně médium, které může navíc obsahovat i tuhé částice. Tohoto znečištění je potřeba si všimnout a přesně definovat, o jaké znečištění jde, jelikož tato znečištění mají velký vliv na velikost koeficientu tření. V technické praxi se neznečištěné povrchy prakticky nevyskytují. Styk čistých povrchů by mohl nastat pouze ve vakuu, jelikož na vzduchu začnou povrchy kovů, ale i jiných látek, oxidovat nebo se na jejich povrchu začne usazovat vzdušná vlhkost. V provozních podmínkách pracují stroje za matematicky nedefinovatelného znečištění povrchu.

Reálný stav třecích povrchů je možno si makropohledem představit jako na následujícím obrázku 2 tribologického systému. Tribologický systém je materiálový systém, ve kterém probíhá proces tření jako důsledek vzájemného působení dvou strukturních prvků. [3]



## 2 Tribologický systém

### 3 Makroskopické zákony:

Jak již bylo zmíněno, jsou-li dvě dotýkající se tělesa v navzájem relativním pohybu, působí v místě styku odpor označovaný jako třecí síla  $F_t [N]$ . Poměr třecí síly  $F_t$  k normále  $F_n [N]$  je stálý a je dán příslušnou konstantou úměrnosti:

$$f = F_t / F_n \quad (1)$$

Konstantu  $f [1]$  nazýváme koeficientem tření. Během minulých let výzkumu byly objeveny tři zákony tření:

- 1) Velikost síly tření je přímo úměrná zatížení.
- 2) Velikost síly tření nezávisí na celkové ploše společného styku.
- 3) Síla tření při rovnoměrném pohybu po podložce je menší než síla při uvedení tělesa z klidu do pohybu. To znamená, že statický koeficient tření  $f_s [1]$  je větší než koeficient tření za pohybu  $f_k [1]$ , tuto skutečnost dokumentuje vztah:

$$f_s > f_k \quad (2)$$

[6]

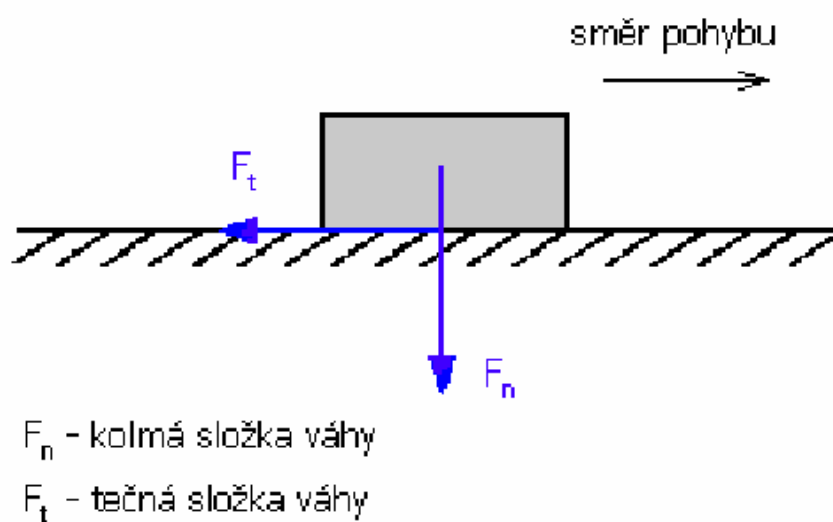
## 4 Rozdělení tření:

Podle způsobu tření rozdělujeme tření na:

- tření vlečné (kluzné, smykové)
- tření valivé
- tření opásáním [6]

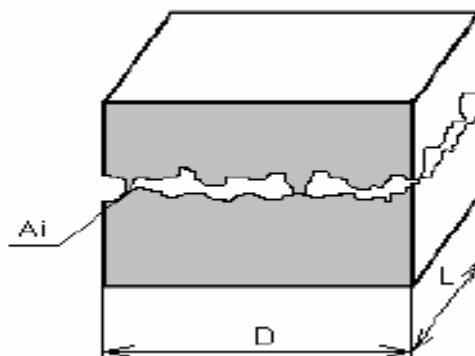
### 4.1 Tření vlečné:

Je-li vzájemný pohyb smykajících se těles posuvný, hovoříme o vlečném tření.



### 3 Silové poměry u vlečného tření

Základním poznatkem teorie tření je, že dotek reálných těles se neuskutečňuje v celé makroskopicky pozorované ploše, ale jen v řadě mikroskopicky pozorovaných plošek  $A_i$ , vznikajících v místech doteku, obr. 4. Tyto mikroskopické plošky vytvářejí skutečnou plochu doteku. [6]



#### 4 Skutečná plocha doteku

Při dotyku čistých kovových povrchů se nerovnosti plasticky deformují do té míry, že vzniká skutečná styčná plocha  $S [m^2]$  (tj. součet všech mikroskopických dotykových plošek  $A_i [m^2]$ , v nichž se tělesa dotýkají), která je schopna unést kolmou tlakovou sílu  $N [N]$ . Teorie předpokládá, že střední napětí v tlaku  $\bar{\delta} [Pa]$  na skutečné styčné ploše  $S [m^2]$  je stálé a velikost středního tečného napětí  $\bar{\tau} [Pa]$ , potřebného k usmyknutí spojů, závisí na velikosti adheze v celé styčné ploše. Potom jsou kolmá tlaková síla  $N [N]$  a celková síla tření dány vztahy:

$$N = \bar{\delta} * S \quad (3)$$

$$T = \bar{\tau} * S \quad (4)$$

Takže součinitel smykového tření definovaný jako poměr tečné síly tření ke kolmé tlakové síle je:

$$\mu = \frac{\bar{\tau}}{\bar{\delta}} \quad (5)$$

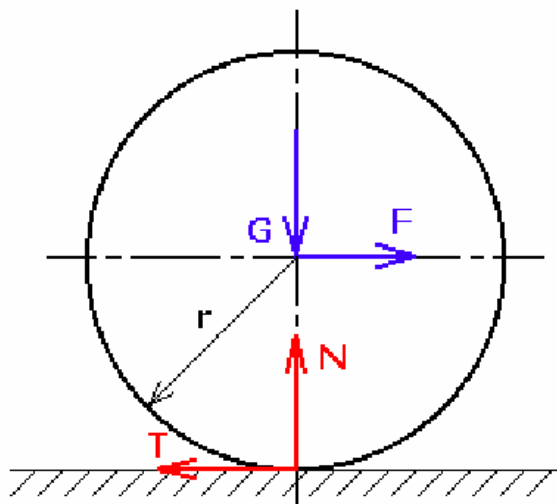
Pokud je přilnavost velmi značná, klade se obvykle  $\bar{\tau}$  rovno napětí na mezi pevnosti ve smyku měkkého kovu, avšak dosud není jasná představa o tom, jaký je vztah kolmého napětí  $\bar{\delta}$  ve styčných ploškách k mechanickým vlastnostem materiálu jako celku. Lze předpokládat, že bude záviset na pružném a mechanickém chování materiálu. Nelze tedy dosud předem spolehlivě určit součinitele smykového tření z mechanických

vlastností třených materiálů. Uvedená představa vysvětluje skutečnost zjištěnou v širokém rozsahu experimentálních podmínek, že součinitel smykového tření nezávisí na velikosti kolmé tlakové síly a tudíž, že *síla tření je přímo úměrná kolmé tlakové síle a nezávisí na zdánlivé velikosti dotykových ploch.* [3]

$$T = \mu * N \quad (6)$$

#### 4.2 Tření valivé:

Toto tření vzniká při valivém pohybu pevného oblého tělesa po jiném tělese, ke kterému je první těleso tlačeno silou, tomuto pohybu odporuje valivé tření. Tento odpor je jiný než u vlečného tření.



#### 5 Rozložení sil při valivém tření

Na válec o hmotnosti  $m$  [kg], ležící na vodorovné drsné rovině, působí malá tažná síla  $F$  [N] (obr. 4). Působení roviny proti gravitační síle válce  $G$  [N] a tažné síle  $F$  [N] je dáno reakcemi  $N$  [N] a  $T$  [N] v přímce dotyku. Pokud má být válec v klidu, musí platit podmínky rovnováhy:

$$N - G = 0 \quad (7)$$

$$F - T = 0 \quad (8)$$

$$r * F = 0 \quad (9)$$

z čehož plyne:

$$F = 0 \quad (10)$$

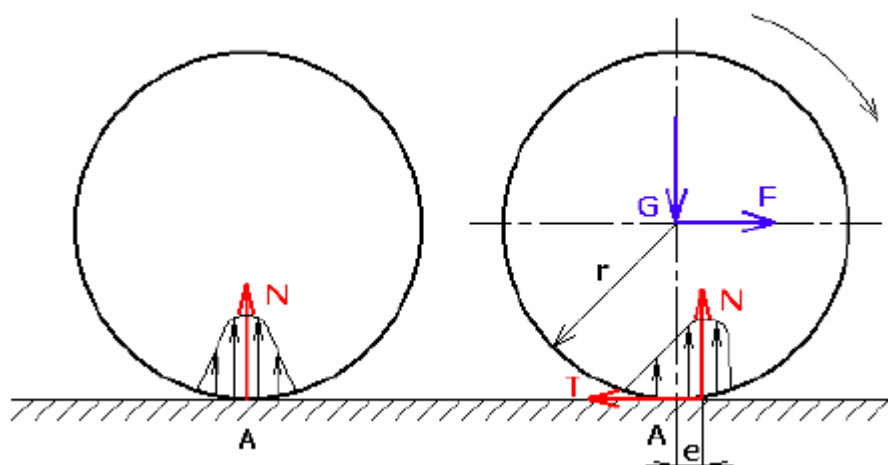
$$T = 0 \quad (11)$$



$$N=G$$

(12)

Působí-li tedy nějaká sebemenší síla  $F$  [N], nemůže být válec v klidu a bude se valit. Pokusy však ukazují, že u skutečných těles může působit malá síla  $F$  [N], aniž by se těleso dalo do pohybu. Musí tu tedy existovat nějaký odpor, který brání tělesu v pohybu.



### 6 Rovnováha sil u valivého tření

Valivý odpor vzniká tím, že se valící se těleso a podložka při dotyku nepatrně deformují, dotyk tedy nenastává v bodě nebo v přímce, ale v malé ploše. Jsou-li tělesa navzájem v klidu, je rozložení měrných tlaků v dotykové ploše zhruba souměrné kolem osy tělesa. To znamená, že výslednice  $N$  [N] prochází ideálním bodem dotyku  $A$  a leží v ose tělesa. Na obr. 6 vidíme, že pokud má válec snahu se valit a to vlivem tažné síly  $F$  a třecí síly  $T$ , vznikne nesouměrné rozložení měrných tlaků tak, že na straně ve směru pohybu tělesa budou tlaky větší než na straně opačné. Proto neprochází výslednice  $N$  [N] těchto měrných tlaků ideálním bodem dotyku. Valivý odpor  $F_t$  [N] má velikost:

$$F_t = \zeta \cdot F_n / R \quad (13)$$

kde  $\zeta$  (ksí) [m] je rameno valivého odporu,  $F_n$  [N] je kolmá tlaková síla mezi tělesy (např. tíha tělesa),  $R$  [m] je poloměr průřezu tělesa. Hodnota ramene valivého odporu  $\zeta$  (ksí) [m] závisí na materiálové dvojici třecích se těles. [3]

Příklady hodnot ramen valivých odporů jsou v tab. 1.

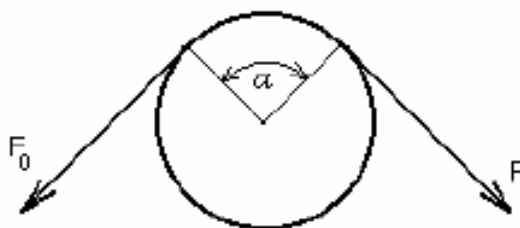
Druh stykových ploch	Rameno valivého odporu $\xi$ (mm)
ocel na ocel	0,05-0,06
litina na litinu	0,005-0,006
pryž na beton	1,5-2,5
pryž na asfalt	2,5-4,5

**Tabulka 1** Hodnoty ramene valivého odporu [8]

Valivý odpor je pro stejnou přitlačnou sílu  $F_n$  [N] o hodně menší než smykové tření.

### 4.3 Tření opásáním:

Tření opásáním nazýváme též Eulerovo tření. Jde o tření opásaných předmětů kruhového průřezu.



### 7 Tření opásáním

Pro vyšetřování tření opásáním používáme Eulerova vztahu:

$$F = F_0 \cdot \exp(f_a \cdot \alpha) \quad (14)$$

$F$  [N] třecí síla za třecím tělesem

$F_0$  [N] napínací síla před tělesem

$f_a$  [1] součinitel tření opásáním

$\alpha$  [rad] úhel opásání

[3], [9]

## 5 Tření v textilu:

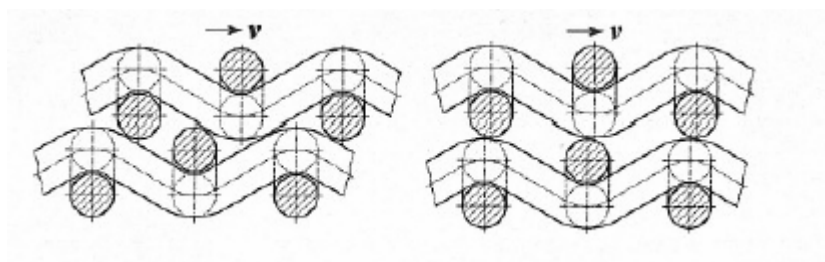
V současné době se tření uplatňuje stále častěji v textilním průmyslu. Součinitel tření je důležitou charakteristikou jak délkových, tak plošných textilií. U délkových hraje důležitou roli při vytváření plošných textilií, při technologických operacích a při technologickém zpracování přízí. Třecí vlastnosti textilií jsou velmi důležité a to jak při výrobě oděvů a textilních produktů, tak i při jejich používání a nošení. Zatímco dříve se potah na sedadla řídil pravidlem barvy a vzoru, dnes se zkoumá, jak na sebe působí dva materiály fyzicky (jaké je mezi nimi tření)-materiál potahu sedačky a materiál obleku. Pokud jsou materiály nevhodně zkombinované může docházet k problémům jako je rychlejší prošoupání látky, nabíjení statickou elektřinou a podobně.

Někdy může být vysoké tření mezi tkaninami požadováno, v jiných případech nízké tření zajišťuje příjemný pocit. Vyšší tření je požadováno u potahů sedaček automobilů, u křesel a všude tam, kde by se mělo zabránit nepříjemnému klouzání mezi oděvem a jiným textilním produktem. Vysoké tření může být požadováno mezi vrstvami šatů a u dekoračních tkanin. Košile a halenky by měly mít vysoké tření proti vrcholu vnitřní strany kalhot a sukní a předcházet tak vyklouznutí. Vysoké tření je také důležité v procesu šití u šatů aby se předešlo švovému skluzu, některá syntetická vlákna jsou v tomto směru nedostatečná. Nízké tření je žádané v následujících případech: Podšívky v bundách nebo v kabátech by měly mít nízké tření a to kvůli menšímu opotřebení. Také vysoké tření punčoch proti oděvu vede k jejich velkému opotřebení. Nízké tření punčoch proti sukním zamezuje nepříjemnému obepnutí. Ponožky a punčochy by měly klouzat kvůli snadnějšímu oblékání. Na druhé straně vysoké intervláknové tření snižuje tendenci punčoch pouštět oka.

Textilní materiály jako jsou příze, tkaniny, pleteniny atd. se chovají ještě méně předvídatelněji než kompaktní pevné materiály. Skutečný kontakt povrchu textilních výrobků (např. po oceli, keramice nebo po jiném textilním materiálu) je uskutečňován na mnoha malých místech kontaktem vláken na povrchu textilie. Když začne působit tangenciální síla, vlákna mohou začít měnit svoji pozici a pohyb těles může začít ještě dříve, než je třecí odpor překonán. Později po změně vzájemné pozice začíná skluz v kontaktních místech, ale ne v jednom okamžiku, ale postupně. Obvykle není na povrchu vláken zcela kompaktní pevná vrstva, takže se tření vláken nemůže řídit jen Coulombovým zákonem, ale kompromisem mezi třením pevné látky a kapaliny.

Na třecí odpor nemá vliv jen struktura tkaniny, ale také použitá příze. Skutečný celkový kontakt tkanin je také tvořen mnoha vzájemnými kontakty vláken. Během procesu tření jsou vnější plochy vláken deformovány a mění svou geometrii. U tkanin s vlasem je dokonce počáteční skluz tvořen jen přízí. U textilních materiálů dále vstupuje do hry struktura vazby tkanin a pletenin a samozřejmě vliv aviváže a zušlechťovacích prostředků.

Kvůli pravidelné geometrii tkanin závisí skluz tkanin na vzájemné poloze obou textilií, prostorová poloha je zobrazena na obr. 8. [1], [2], [4], [11], [20]



8 Tření tkaniny o tkaninu [10]

## 6 Koeficient tření:

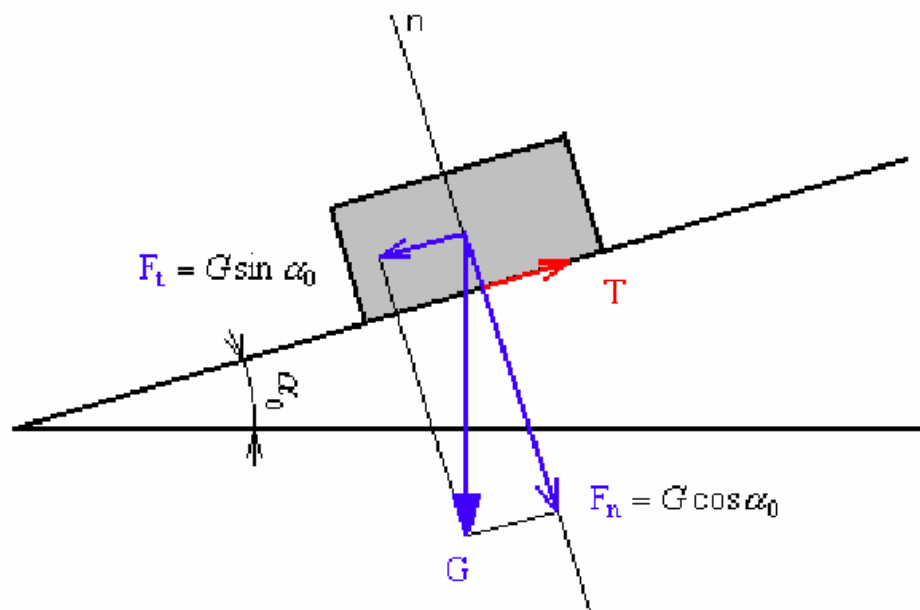
Podle prvního zákona tření je poměr třecí síly  $F_t$  [N] k normálově síle  $F_n$  [N] stálý a je dán příslušnou konstantou úměrnosti  $f$  [1], také někdy značenou  $\mu$  [1], kterou nazýváme koeficientem tření. **Hodnota koeficientu tření nám tedy udává velikost třecího odporu.** Nejjednodušší popis nám poskytne nakloněná rovina. Na obr. 9. vidíme rozložení sil, které působí na těleso smykající se po nakloněné rovině. Při postupném zvětšování úhlu  $\alpha_0$  se těleso, v určité hodnotě úhlu nakloněné roviny, dá vlivem gravitační síly do pohybu. I když je tečná složka váhy

$$F_t = G \cdot \sin \alpha_0 \quad (15)$$

jen nepatrně větší než síla tření

$$T = \mu \cdot G \cdot \cos \alpha_0 \quad (16)$$

nezačne se těleso pohybovat rovnoměrně po nakloněné rovině dolů. Ve skutečnosti nastane znatelně zrychlený pohyb, při němž je zrychlení větší než by mělo být podle síly, která je rozdílem tečné složky tíhové síly a síly třecí. Tuto skutečnost lze vysvětlit tím, že jakmile se dá těleso do pohybu, zmenší se součinitel tření a zůstává až do konce pohybu na této nižší hodnotě.



### 9 Těleso smykající se po nakloněné rovině

Síla tření při pohybu po podložce je tedy menší, než síla při uvedení tělesa z klidu do pohybu. To znamená, že existují dva koeficienty tření. Jsou to statický koeficient tření  $f_s$ , když jsou smykající se tělesa v klidu a kinetický (dynamický) koeficient tření  $f_k$ , který se uplatňuje za pohybu těles. Statický koeficient tření bývá zpravidla větší:

$$f_s > f_k \quad (17)$$

Díky této skutečnosti existuje tzv. Stick and slip efekt, který bude popsán později.

Zrychlující síla působící na těleso v rovině bude pak:

$$T = \mu * G * \cos \alpha_0 \quad a \quad P = G * \sin \alpha_0 \quad (18)$$

a zrychlení  $a$  tělesa, je-li  $m$  jeho hmotnost, bude:

$$a = \frac{G * \sin \alpha_0 - \mu * G * \cos \alpha_0}{m} \quad (19)$$

[6]

Koeficient tření musíme vždy vztahovat k určité materiálové dvojici, příklady koeficientů tření jsou uvedeny v tab. 2. [8]

látky	$f_s$	$f_k$
ocel na oceli	0,15	0,1
ocel na bronz	0,18	0,16
ocel na dřevě	0,55	0,35
dřevo na dřevě	0,65	0,35
kůže na kovu	0,6	0,25
kůže na litině	0,56	0,28
kůže na dřevě	0,47	0,27
pryž na asfaltu	0,3	0,1
ocel na litině	0,3	0,18
tvrzená tkanina na oceli		0,25
polyamid na oceli		0,4
polyvinylchlorid na oceli		0,6

**Tabulka 2 Hodnoty statických a dynamických koeficientů tření**

V tab.3. jsou uvedeny koeficienty tření textilních materiálů, při tření vlákna o vlákno.

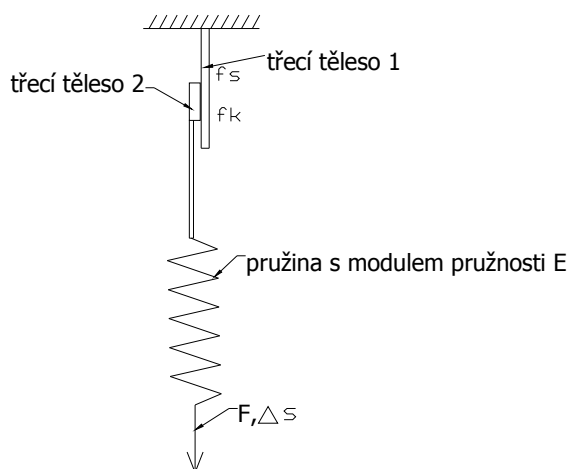
[7]

vlákno	$f_s$	$f_k$
viskóza	0,35	0,26
nylon	0,47	0,4
vlna (směr šupinek)	0,13	0,11
vlna (směr proti šupinkám)	0,61	0,38
polyester	0,58	
bavlna	0,22	
přírodní hedvábí	0,52	
ocel	0,21	

**Tabulka 3 Hodnoty statických a dynamických koeficientů tření vlákno/vlákno**

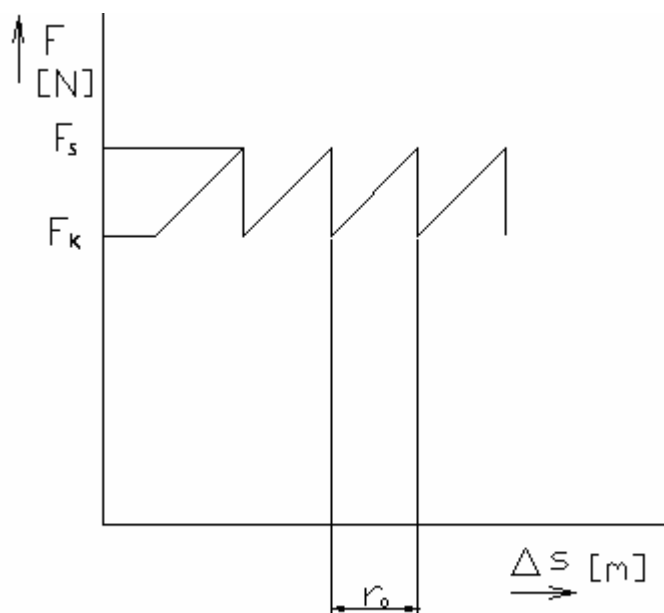
## 7 Stick and slip efekt:

Jak už bylo popsáno, existují dva koeficienty tření-statický koeficient tření, při klidu obou smykajících se těles, a dynamický koeficient tření při relativním pohybu smykajících se těles. Statický koeficient tření bývá zpravidla větší, což vede ke vzniku takzvaného Stick and Slip efektu. Anglický název tohoto fenoménu by se dal volně přeložit jako „přilepení a uklouznutí“. Třecí se těleso po podložce tedy nekoná rovnoměrný pohyb, ale jeho pohyb je skokový. Popis vzniku Stick and Slip efektu lze snadněji vysvětlit na dvou experimentálních měření koeficientu tření na dynamometru. Při těchto experimentech vyvolávají sílu  $F$  čelisti dynamometru. Stick and Slip efekt se ovšem nemůže projevit, pokud bude rychlost posouvání třecího tělesa vynuceně konstantní. Střídavé dočasné zastavení tělesa a následný rychlý prokluz po překonání statického třecího odporu umožňuje teprve vložení pružného prvku mezi čelisti a třecí místo. Může to být pružina se známou tuhostí-experiment 1. Tuto situaci můžeme modelovat také viskoelasticky-experiment 2.



### 10 Vznik stick and slip efektu

Na obr. 10 je znázorněno snad nejjednodušší řešení, u kterého je sériově k pružnému prvku o modulu pružnosti  $E$  umístěn prvek třecí, se dvěma hodnotami třecího odporu, statického  $F_s$  a kinetického  $F_k$  ( $F_s > F_k$ ). Změna polohy  $\Delta s$  má za následek lineární vzrůst síly  $F$  až do hodnoty  $F_s$ , načež se třecí odpor sníží skokem na velikost  $F_k$  (kinetické tření). ***Právě tento pilovitý průběh třecí síly, který je znázorněn na grafu 1, se nazývá Stick and Slip efekt.*** [10]



**Graf 1 Pilovitý průběh třecí síly**

Amplituda funkce je:

$$F_s - F_k = A_m \quad (20)$$

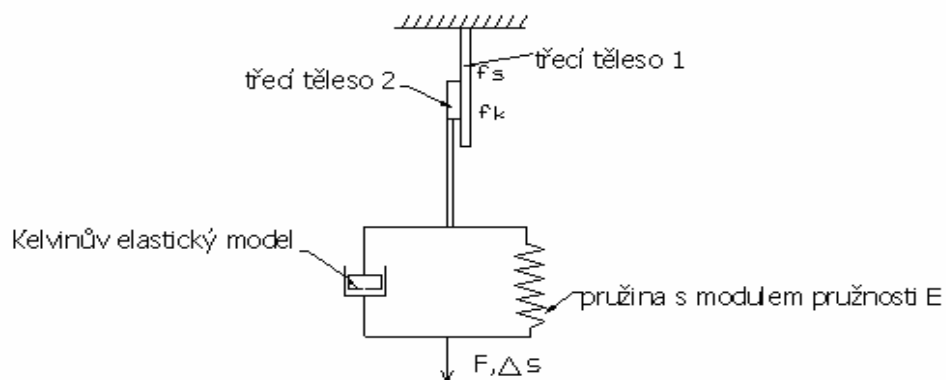
Rozteč jednotlivých skoků nebo také vlnová délka  $r_0 [m]$  v hodnotě třecího odporu bude odpovídat rozdílu statického a kinetického tření děleného tuhostí pružiny

$S [N \cdot m^{-1}]$ :

$$r_0 = \frac{F_s - F_k}{S} \quad (21)$$

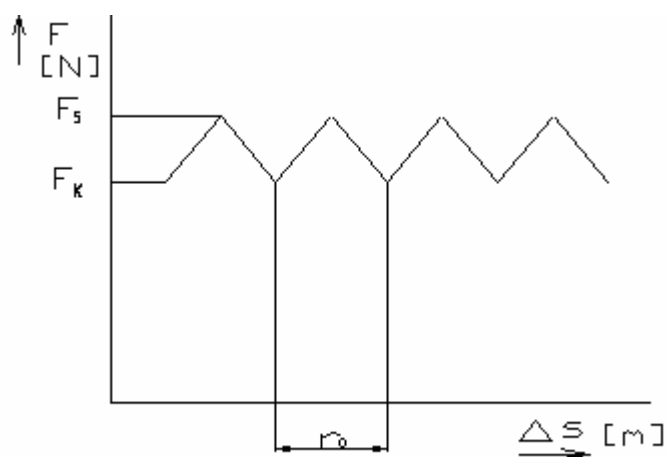
Na obr.10 je pružný prvek nahrazen Kelvinovým elastickým modelem s viskozitou  $\eta [Pa \cdot s]$ .





## 11 Měření s Kelvinovým elastickým modelem

Průběh třecí síly je v tomto případě jiný:



**Graf 2 Chování třecí síly při použití Kelvinova elastického modelu**

Jak je patrné z grafu, v tomto případě neexistuje skoková změna síly  $F$  [N], síla  $F$  lineárně roste až do svého maxima, hodnoty  $F_s$  [N], a po dosažení maxima klesá na hodnotu  $F_k$  [N], spád křivky závisí na modulu pružnosti pružiny  $E$  [Pa] a dynamické viskozitě Kelvinova elastického modelu  $\eta$  [Pa\*s]. [10]

## 8 Metody měření koeficientu tření u plošných textilií:

Na měření koeficientu tření slouží přístroje zvané tribometry. Tribometry můžeme rozdělit podle druhu tření, které vyšetřují a to na přístroje na měření:

- smykového tření
- valivého tření
- tření opásáním (Eulerova tření)

Jak již bylo uvedeno dříve, existují dva koeficienty tření, kinetický a statický koeficient tření. V praxi nás zajímají oba koeficienty tření, ne však všechny tribometry umožňují měřit statické i dynamické tření. To znamená, že každý tribometr nedokáže změřit i takzvaný stick and slip efekt.

Podle směru a druhu pohybu smykajících se těles lze tribometry rozdělit do čtyř skupin:

- dvě stýkající se roviny třecích se těles se vůči sobě pohybují posuvným pohybem
- dvě stýkající se roviny třecích se těles, z nichž jedna klouže po druhé, rotují v rovině
- rovina třecího tělesa klouže proti směru rotujícího válce (válců)
- rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu

[1]

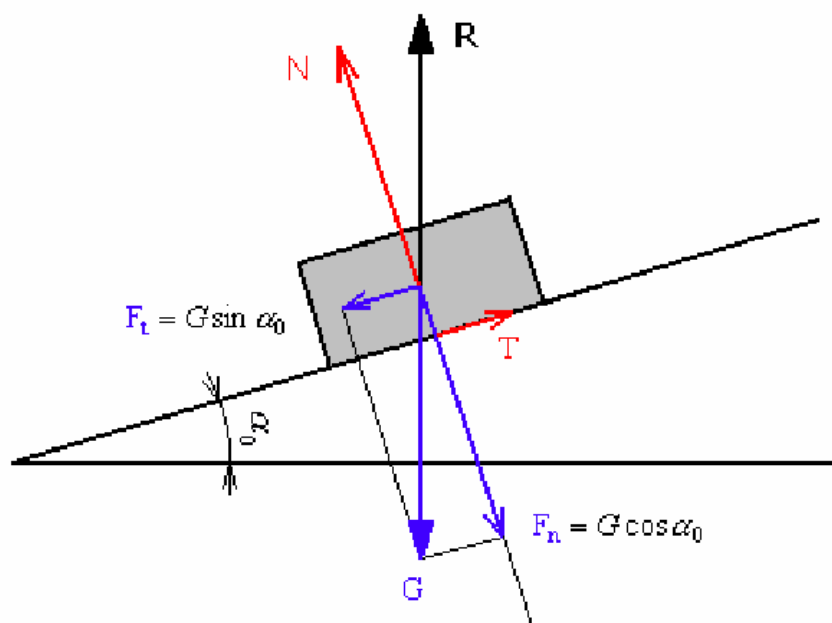
### ***8.1 Dvě stýkající se roviny třecích se těles se vůči sobě pohybují posuvným pohybem:***

#### **8.1.1 Metoda nakloněné roviny:**

Pro měření koeficientu tření plošných textilií lze použít metodu nakloněné roviny, ta umožňuje nejjednodušší způsob měření statického koeficientu tření, pomocí této metody lze ale měřit i kinetický koeficient tření. Jak je patrné z obrázku 12, je síla tření reakce, která působí proti směru síly, která se snaží tělesa ve směru jejich styčné plochy posunout a dokud relativní pohyb nenastane, má s ní stejnou velikost. Přitom může nejvýše dosáhnout hodnoty, kterou udává rovnice:

$$T = \mu * N \quad (22)$$

Takovou vlastnost třecí síly za klidu musíme požadovat, má-li být splněn princip setrvačnosti.



## 12 Silové účinky na nakloněné rovině

Předpokládejme, že nakloněná rovina má právě sklon, který se rovná úhlu tření  $\alpha_0$ . Těleso na nakloněné rovině je v klidu, to znamená, že tíha tělesa  $G$  [N] se ruší s reakcí podpory  $R$  [N]:

$$R = -G \quad (23)$$

Pokud platí tato rovnice, ruší se i složky obou sil v kolmém i v tečném směru k nakloněné rovině. Kolmá složka tíhy  $F_n$  [N] je v rovnováze s kolmou složkou  $N$  [N] reakce roviny a tečná složka váhy  $F_t$  [N] je v rovnováze s tečnou složkou  $T$  [N] reakce roviny. Tečná složka  $T$  [N] je silou tření. Pomocí rovnic je snadné najít vztah mezi silou tření a úhlem tření  $\alpha_0$ .

$$|F_t| = |T| = |G| \cdot \sin \alpha_0 \quad (24)$$

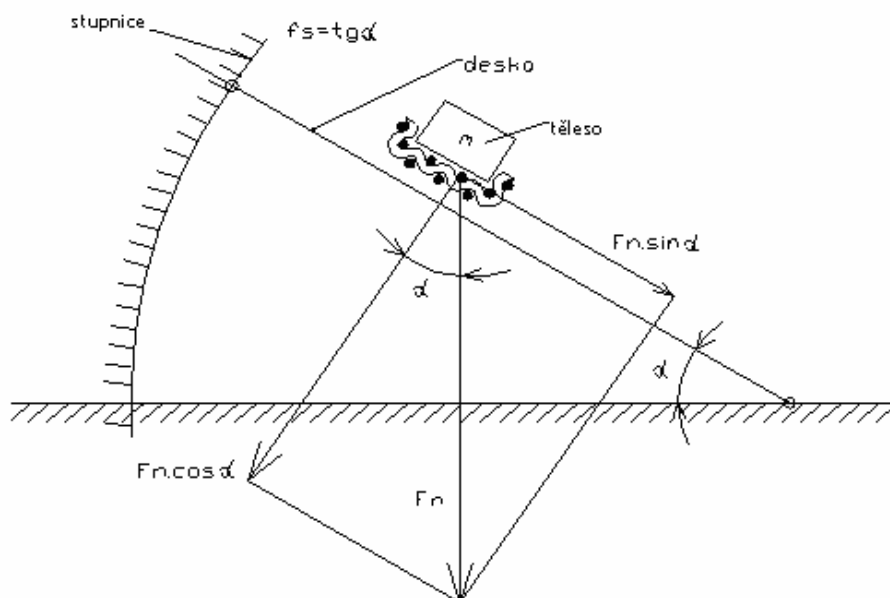
$$|F_n| = |N| = |G| \cdot \cos \alpha_0 \quad (25)$$

Pro velikost tření dostáváme:

$$|T| = |N| \cdot \tan \alpha_0 \quad (26)$$

Úhel tření  $\alpha_0$  je pro dva povrchy stálý, takže síla tření  $T$  [N] je přímo úměrná tlakové síle  $N$  [N], kterou jedno těleso působí na druhé. To je tzv. Amonton-Couloumbův zákon smykového tření.

K vyšetřování pohybu tělesa po nakloněné rovině slouží tzv. sklonný tribometr, obr. 13, zařízení je konstruováno tak, že lze měnit úhel sklonu  $\alpha$  této nakloněné roviny. [5]



**13 Sklonný tribometr**

Sklonný tribometr je zařízení, které umožňuje vyšetřovat pohyb smykaného tělesa jako pohyb po nakloněné rovině, z obrázku 12 je zřejmé, že:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = F/N \quad (27)$$

Dosáhne li úhel  $\alpha$  takové hodnoty, že  $F=T$ , potom:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{T}{N} = f \quad (28)$$

Abychom mohli vyšetřovat smykové tření mezi různými dvojicemi těles, jsou deska  $D$  a těleso  $S$  výměnné. Měření na přístroji provádíme tak, že postupně zvětšujeme úhel  $\alpha_0$ . Při každém nastavení úhlu  $\alpha_0$  uvedeme těleso mírným poklepem do pohybu, při jisté hodnotě úhlu  $\alpha_0$  se rovnoměrně zpožděný pohyb tělesa změní v pohyb rovnoměrný nebo zrychlený s malým zrychlením. V okolí tohoto úhlu se snažíme co nejpresněji určit úhel odpovídající rovnoměrnému pohybu, pro takový úhel platí:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = f_k, \quad (29)$$

hledáme-li statický koeficient smykového tření, zvětšujeme sklon nakloněné roviny, dokud se těleso  $S$  neuvede do pohybu bez poklepu. Pro odpovídající úhel platí:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = f_s, \quad (30)$$

úhel  $\alpha_0$  sklonu nakloněné roviny odečítáme přímo na stupnici úhloměru, kterým je tribometr opatřen. Na sklonném tribometru lze také měřit koeficient valivého tření, moment síly, který způsobuje valivý pohyb tělesa, je dán vztahem:

$$M = R * G \sin \alpha_0, \quad (31)$$

v němž  $R [m]$  je poloměr,  $G [N]$  tíha tělesa a  $\alpha$  úhel sklonu nakloněné roviny. Pohyb po nakloněné rovině nastane tehdy, když moment  $M [N*m]$  bude větší nebo roven momentu valivého tření:

$$M_v = \xi * N, \quad (32)$$

jelikož je síla:

$$N = G * \cos \alpha_0, \quad (33)$$

dostáváme z rovnosti obou momentů podmínku pro úhel  $\alpha_0$  ve tvaru:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\xi}{R}, \quad (34)$$

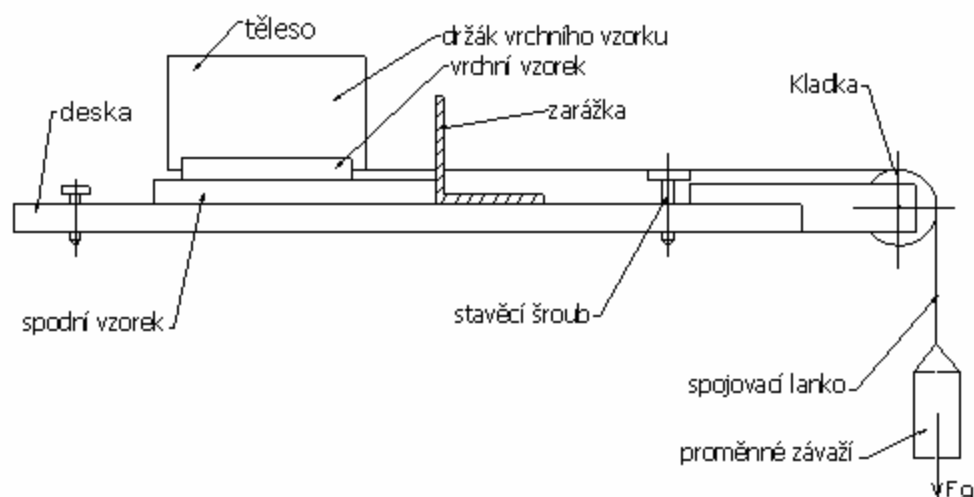
jestliže je tato podmínka splněna, nastane rovnoměrný valivý pohyb tělesa po nakloněné rovině, u valivého tření je rozdíl mezi kinetickým a statickým třením nezřetelný.

Při měření zvedáme tribometr až po hodnotu úhlu  $\alpha_0$ , kdy právě nastane valení. Ze známé hodnoty  $\alpha_0$  a poloměru tělesa  $R [m]$  vypočteme pomocí rovnice (34) rameno valivého odporu  $\xi [m]$ .

Všechna měření koeficientu tření jsou značně ovlivněna různými náhodnými vlivy a výsledky jednotlivých měření mívají značný rozptyl, je proto třeba výsledky měření stanovit na základě velkého počtu pokusů, přesnost měření na tribometrech je pouze asi 10 %. Vzhledem k tomu, že zavedení koeficientu není zcela jednoznačné (zanedbání vlivu rychlosti, značná závislost koeficientu tření na úpravě povrchu) a že tření uvažujeme obvykle jako korekční člen, jsou získané přibližné výsledky většinou zcela dostačující. [3]

### 8.1.2 Měření koeficientu tření vodorovným tribometrem:

Tribometr vodorovný se skládá z desky a po ní se smykajícího tělesa, spojeného přes kladku s miskou, na kterou klademe závaží, obr. 14.

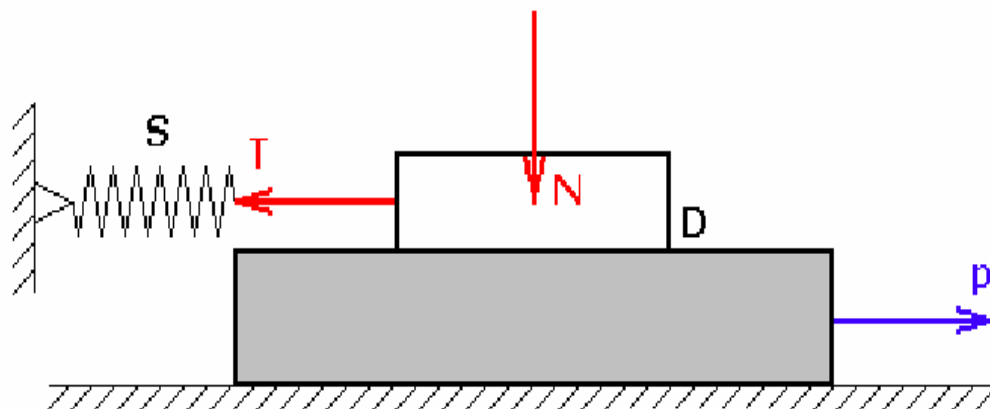


**14 Vodorovný tribometr**

Deska i těleso jsou vyměnitelné a zhotoví se vždy z toho materiálu, jehož vlastnosti chceme určit. Deska se klade mezi zarážky, které současně slouží jako zarážky pro smykané těleso, smýkané těleso uchycujeme co nejnižše, aby moment síly  $F$  [N] vůči bodům na stykové ploše byl co nejmenší. Měření se provádí tak, že postupně zvyšujeme závaží na misce, dokud se těleso neuvede do pohybu, vhodné je použít kapalinu nebo písek. V tomto případě poměr síly  $F$  [N] (tíha misky a závaží) k síle  $N$  [N] (tíha smykajícího se tělesa) udává statický moment koeficientu smykového tření  $f_s$ . Měříme-li kinetický koeficient smykového tření, uvádíme smykané těleso po vložení závaží na misku do pohybu mírným poklepem ve směru síly  $F$  [N]. Volbou závaží nastavíme rovnoměrně přímočarý pohyb resp. najdeme přechod mezi rovnoměrně zpožděným a rovnoměrně zrychleným pohybem. Stanovení druhu pohybu provádíme odhadem, poměr síly  $F$  [N], která odpovídá rovnoměrnému přímočarému pohybu smykaného tělesa k jeho tíze  $N$  [N], udává kinetický součinitel smykového tření  $f_{kin}$ . Měření je vhodné opakovat při různých hodnotách síly  $N$  [N], zvětšení síly  $N$  [N] dosáhneme přidáním závaží na smykané těleso. [3]

### 8.1.3 Metoda měření tření přístrojem Bowdena-Lebena:

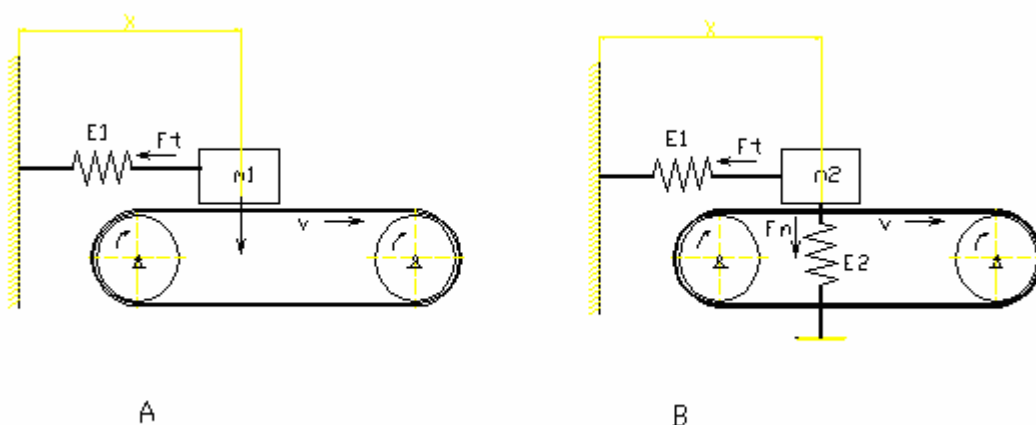
Do první skupiny patří metoda měření tření pomocí přístroje Bowdena – Lebena obr.15, který se stal základem pro zkoumání tření.



#### 15 Měření tření přístrojem Bowdena-Lebena

Třecí element, na který působí zatížení  $N$  [N], tlačí na destičku umístěnou pod ním, na které je upevněna textilie. Tato destička se pohybuje konstantní rychlostí, síla tření táhne třecí element spolu s destičkou až do okamžiku, kdy se jí síla vyvíjená pružinou  $S$  upevněnou k třecímu elementu vyrovná. Natažení spirály je pak měřítkem tření statického. Jelikož tření dynamické je nižší než tření statické, bude třecí element, ihned jakmile začne klouzat, stažen zpět až do vyrovnání síly vyvíjené pružinou s hodnotou dynamického tření, zde se zastaví a bude se vracet zpět na hodnotu síly statického tření. Na obr. 16 vidíme jednu z možností realizace měření tření principem Bowdena-Lebena.

[5]



#### 16 Měření tření principem Bowdena-Lebena

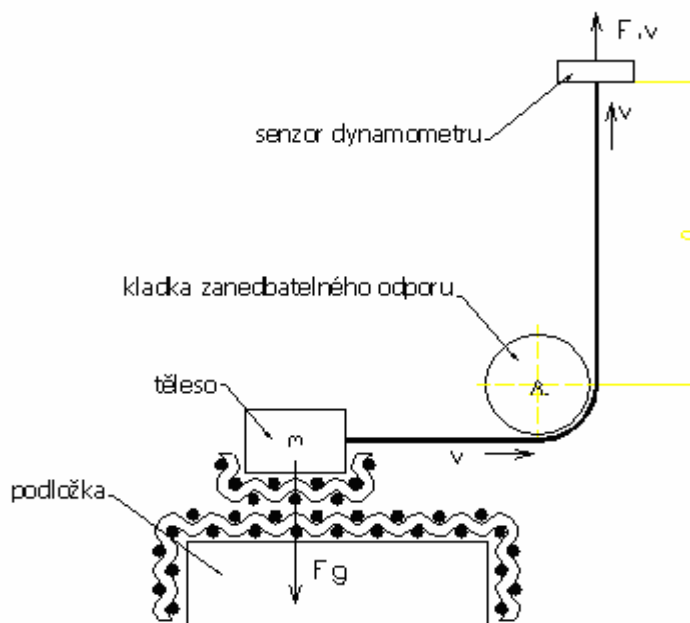
Konstantní rychlost podložky je zde vyvíjena pohonem jednoho z kol, obě kola jsou obepnuta pásem na kterém je připevněna textilie. Pás unáší měřené těleso až do té doby, kdy se síla vyvíjená pružinou se známým modulem pružnosti  $E_1 [Pa]$  vyrovná síle tření  $F_t [N]$ . Míra natažení pružiny je mírou statického tření. Vlivem menšího dynamického tření bude třecí těleso staženo zpět tlakem vyvíjeným pružinou, to vytváří takzvaný Stick and Slip efekt. Na obr. 16B je k měření přidán další reologický prvek, pružina s modulem pružnosti  $E_2$ , pružina tlumí zrychlení tělesa, což by mělo více napodobovat realitu. [10]

#### 8.1.4 Měření koeficientu tření na dynamometru:

Na obr. 17 je zobrazeno jedno z možných schémat měření tření pomocí dynamometru INSTROM. V tomto případě je třecí těleso, na kterém je připevněna tkanina, taženo po podložce. Normálová síla  $F_n [N]$  se stanoví z hmotnosti tělesa  $m [kg]$ , vzorek je tažen lanem, které musí mít nízkou osovou deformovatelnost. Lano prochází přes kladku zanedbatelného odporu, která mění směr výsledné síly, síla  $F [N]$  je měřena senzorem dynamometru. Rychlost skluzu tělesa a rychlost pohonu je při tomto měření stejná:

$$v_s = v_d = v \quad (35)$$

Proto se nemůže projevit stick and slip efekt, metoda je tedy vhodná na měření statického koeficientu tření.



17 Měření koeficientu tření na dynamometru



Podobný princip měření je zobrazen na obr. 18, ke schématu měření byly přidány dva prvky, protiváha  $m_2$  [kg] a pružina s modulem pružnosti  $E$  [Pa]. Těleso je jako v předchozím případě taženo po podložce, jak těleso tak podložka jsou potaženy tkaninou, k tělesu je lanem s malou osovou deformovatelností připevněna protiváha  $m_2$  [kg], protiváha by měla zajišťovat lepší stabilitu vzorku. K zajištění různých hodnot rychlosti skluzu a odtahové rychlosti je mezi třecí těleso a čelisti dynamometru vložena pružina se známým modulem pružnosti  $E$  [Pa], rozdíl rychlostí umožňuje vytvoření stick and slip efektu.

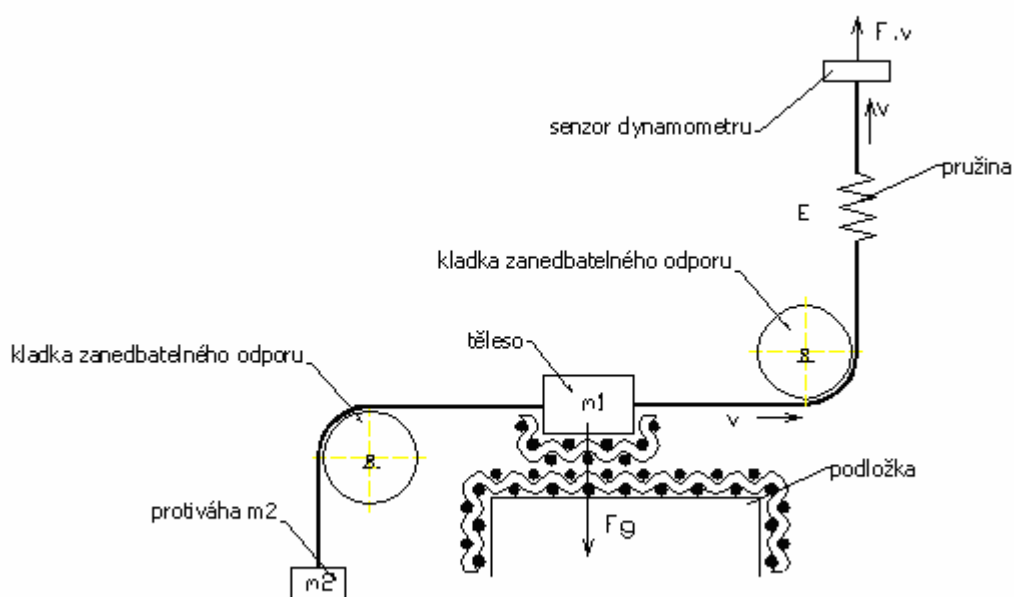
V experimentu jsou důležité tři rychlosti:

- rychlost pohonu  $v_d$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] (vodící části dynamometru). Tato rychlost je přednastavená a bývá konstantní

- rychlost skluzu  $v_s$  [ $m \cdot s^{-1}$ ], je to relativní rychlost těles v místě tření

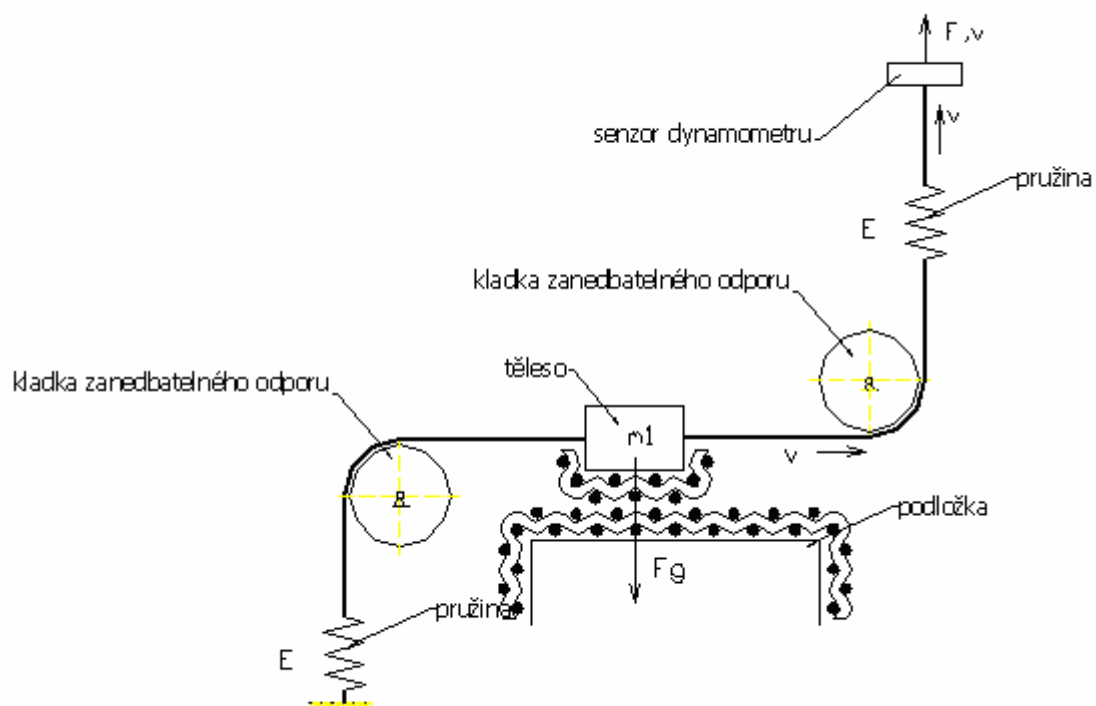
- rychlost vytvořená záměrně hmotností závaží  $v_m$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]

Stick and slip efekt může být ovšem ovlivněn setrvačností závaží, když je stick and slip efekt měřen, je rychlost skluzu proměnná a kolísá kolem střední rychlosti pohonu  $v_d$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]. Jestliže není rychlost závaží  $v_m$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] konstantní, nemůže být ani síla  $F$  [N] konstantní, proto ovlivňuje pružina svojí tuhostí výsledek experimentu.



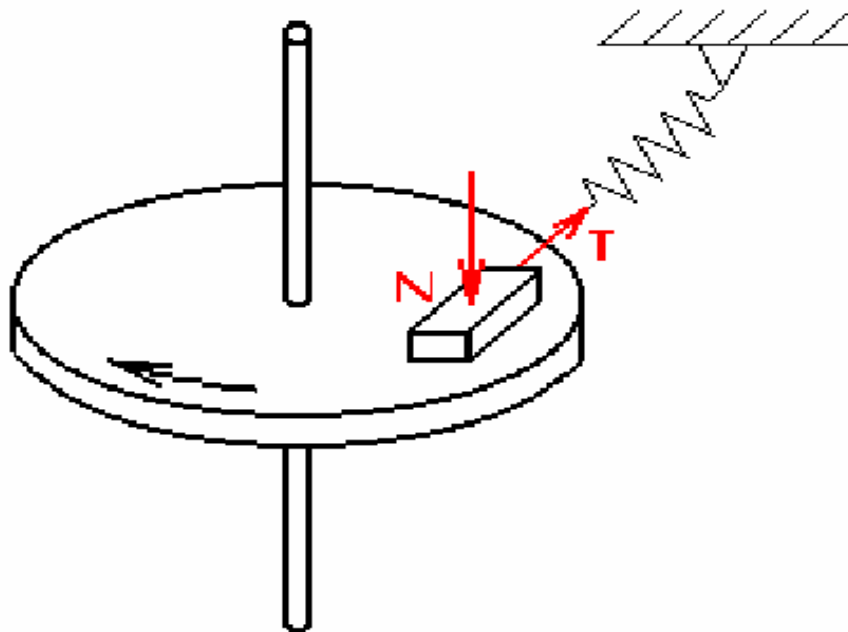
**18 Měření koeficientu tření na dynamometru s přidáním protizávaží**

Částečná eliminace vlivu setrvačnosti závaží na stick and slip efekt se dá realizovat pomocí náhrady protizávaží pružinou, obr.19. [10]



**19 Nahrazení protiváhy pružinou**

## 8.2 Dvě stýkající se roviny třecích se těles, z nichž jedna klouže po druhé, rotující rovině:



### 20 Dvě stýkající se roviny těles, z nichž jedna klouže po druhé, rotující rovině

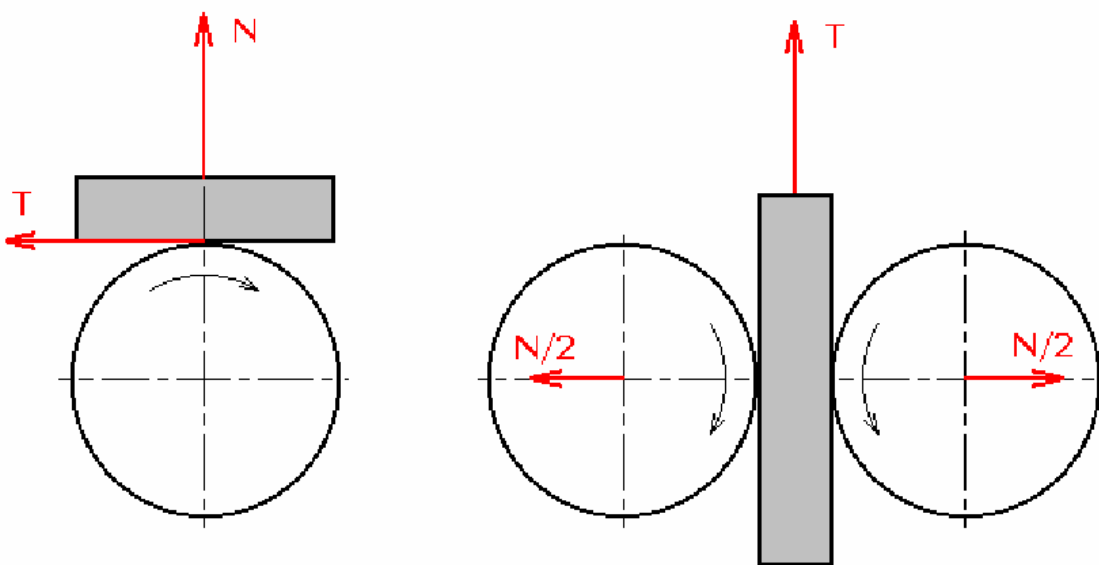
Na povrchu rotujícího kotouče, obr.20 je umístěno třecí těleso potažené zkoumaným materiálem, normálová síla je nastavitelná přes vahadlo cejchovaného mikrometrického šroubu. Na části vahadla je umístěn snímač, který registruje třecí sílu, koeficient tření se vypočítá ze znalosti normálové síly působící na třecí element a ze změřené třecí síly podle vzorce:

$$T = \mu * N \quad (36)$$

Přístroje pracující na tomto principu mohou měřit dynamický koeficient tření v širokém rozsahu rychlosti unášeného kotouče, je možné vyjádřit i statický koeficient tření, pro různé druhy materiálu odpovídají různé registrační snímače.

### 8.3 *Rovina třecího tělesa klouže proti směru rotujícího válce (válců):*

U přístrojů této skupiny je k rotujícímu válci přitlačován třecí element se vzorkem pomocí definovaného tlaku pružiny, která je umístěna na kloubu s nastavitelným předpětím. Třecí síla působící proti nastavenému předpětí kloubu, vychýlí toto rameno ve směru rotujícího válce, přístroj je určen výhradně k měření dynamického koeficientu tření. Pro různé druhy materiálů je nutno zvolit přitlačnou sílu pružiny a nastavení kloubu. [5]



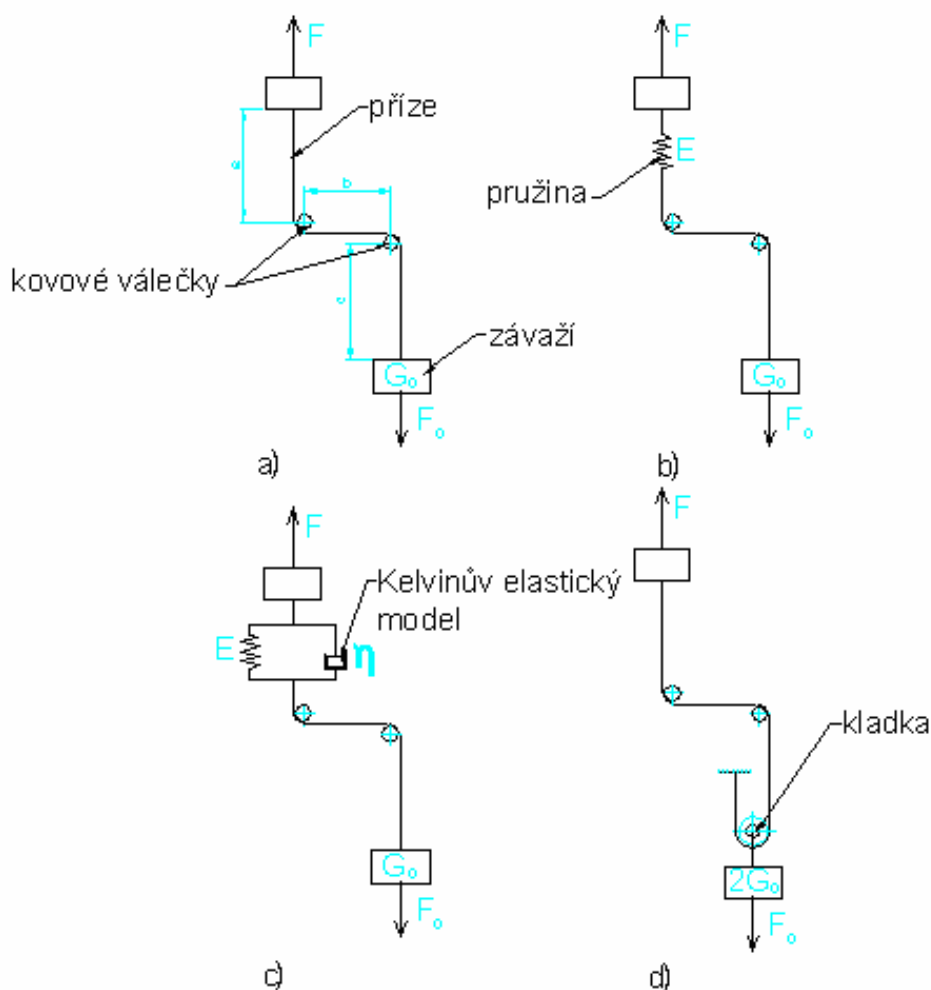
21 Rovina klouzající proti směru rotujícího válce nebo válců

### 8.4 *Rovina ve tvaru pásu obepínající rotující válcovou plochu:*

V této metodě se vypočítává koeficient tření z velikosti napětí ve zkoumaném vzorku podle Eulerova vztahu:

$$F = F_0 \cdot \exp(f_a \cdot \alpha) \quad (37)$$

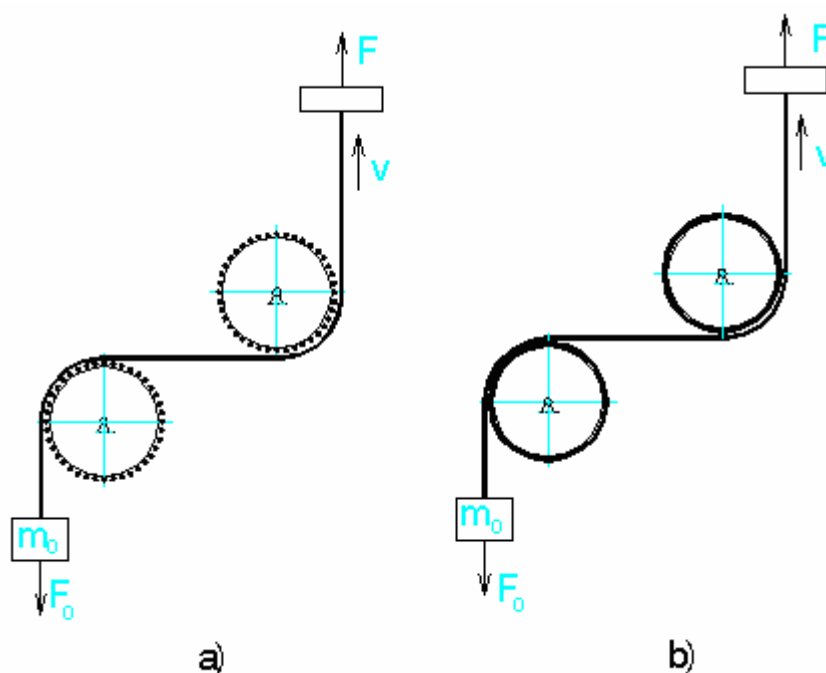
Přístroje této čtvrté skupiny zkoumají vzorek ve tvaru pásu nebo příze vzájemně obepínající válcový povrch, jenž může rotovat. V případě, že válec nekoná pohyb, obepínající příze je protahována válcem nebo válci odtahovou silou, tu může vyvíjet například dynamometr. Tyto metody jsou častěji než u plošných textilií používány k měření koeficientu tření u přízí a vláken, jsou vhodné například k modelování tření mezi pletacími jehlami a přízí, obr.22.



## 22 Měření Eulerova tření na dynamometru

Příze prochází přes dva kovové válečky, které napodobují pletací jehly, celkový úhel opásání je  $\pi$  ( $2 \times 90^\circ$ ), vstupní sílu  $F_0$  [N] vytváří tíha závaží  $G_0$  [Kg]. Výstupní síla  $F$  [N] je měřena dynamometrem INSTROM, pro možnost změny rychlosti skluzu a pro měření stick and slip efektu, je nezbytný nějaký pružný prvek mezi místem tření a čelistmi dynamometru, to může zajistit i sama měřená příze obr. 22a, ale musí mít dostatečnou délku, což vede k problémům při měření méně pružných materiálů, pružným prvkem může být vložená pružina, obr. 22b nebo Kelvinův elastický model, obr. 22c. Stick and slip efekt může být ovlivněn setrvačností závaží  $G_0$ , tomu částečně zamezuje uspořádání na obr. 22d, příze prochází přes pohyblivou kladku zanedbatelného odporu, tíha závaží je dvojnásobná  $2 G_0$ .

Při měření Eulerova tření příze mezi dvěma kladkami, obr. 23 a je příze vedena přes dvě kladky, na kterých jsou vedle sebe přilepeny další příze, mohou být připevněny rovnoběžně s osou kladky nebo mohou být vůči ose kladky natočeny pod určitým úhlem. Kladky mohou být volné nebo fixované, to je vhodné pro měření stick and slip efektu, mohou být dokonce poháněné, v tomto případě je rychlost příze nulová. Síla  $F_0 [N]$  je realizována vahou závaží  $m_0 [kg]$ , výstupní síla  $F [N]$  je měřena senzorem dynamometru, na obr. 23 b je při stejném principu měření příze nahrazena pásem textilie. [10], [1]



**23 Měření Eulerova tření mezi pohyblivými kladkami**

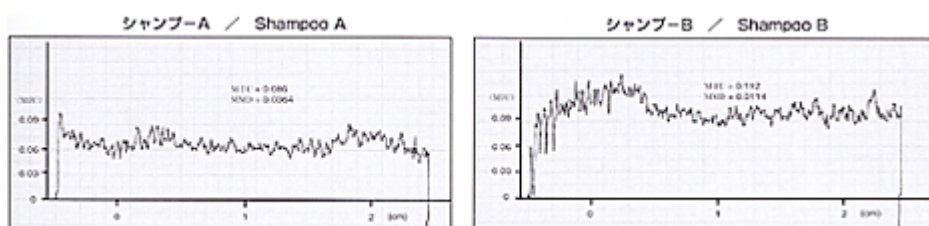
## 9 Měřicí automatické stroje na měření koeficientu tření u plošných textilií:

### 9.1 Přístroj k měření tření KATO TECH CO.,LTD. (KES-SE):



**24 KATO TECH CO.,LTD. (KES-SE)**

Přístroj měří koeficient tření jak u délkových, tak u plošných útvarů, jako jsou vlákna, nitě, tkaniny, netkané textilie a papír. Přístroj byl vyvinut tak, aby simuloval dotek prstů, snímá jen data ve frekvenčním rozsahu, které může cítit člověk. Senzor napodobuje dotek špiček prstů mezi snímacím čidlem a zkoušeným vzorkem, dokáže změřit koeficient tření u vzorků s částicemi krémů a pracích prostředků a zobrazuje výsledné hodnoty jako grafy a čísla pro další analýzy, obr 25. Výsledné hodnoty pomáhají uživateli s volbou, zda zvolit pro lepší hladkost, prostředek A, či B.



**25 výsledné hodnoty měření**

Přístroj užívá objektivní data a zhodnocuje účinek těchto látek, který dříve závisel jen na subjektivním hodnocení pocitu omaku, hladkosti, klouzavosti a chlupatosti, vyhodnocuje průměrnou změnu koeficientu tření při použití těchto látek. Nabízí uživateli výběr vhodného senzoru a v případě nutnosti i jeho změnu, měření může probíhat při sedmi volitelných rychlostech, a to: 0,1 [mm/s], 0,2 [mm/s], 0,5 [mm/s], 1 [mm/s], 2 [mm/s], 5 [mm/s], 10 [mm/s], dovoluje rychlosti při měření měnit a hodnotit rozdíly. Minimální velikost vzorku musí být aspoň 2x5 cm, to za předpokladu, že na celé jeho ploše může být měřeno, při měření je nutné dodržovat optimální klimatické podmínky, zejména teplotu a vlhkost. [12]

## **9.2 Měřicí přístroj KATO TECH CO., LTD (KES-FB4-AUTO-A):**



### **26 KATO TECH CO., LTD (KES-FB4-AUTO-A)**

Přístroj je automatizovaný model pro testování povrchu textilií, který může měřit povrchové vlastnosti tkanin, papíru a netkaných textilií. Měřicí přístroj zaznamenává měřené hodnoty pomocí senzorů (snímačů), které stanovují koeficient tření, střední odchylku koeficientu tření a geometrickou drsnost tkaniny.

Položíme-li zkušební vzorek na pracovní desku a přístroj zapneme, snímače pro snímání koeficientu tření a geometrické drsnosti povrchu zaujmou automaticky výchozí polohu a tím měření začíná. Signály střední hodnoty koeficientu tření, střední odchylky koeficientu tření a střední odchylky drsnosti povrchu jsou zpracovávány současně a to v intervalu polovičního a nebo celkového jednoho cyklu.



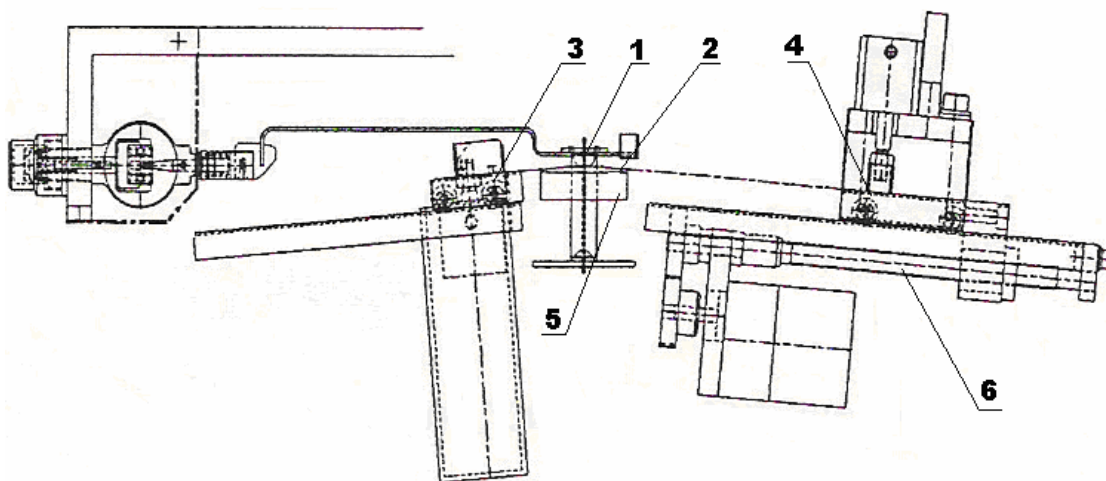
Jeden vzorek je použit pro měření 4 úhlů a to tak, že při posuvu vzorku zprava doleva (vpřed) se změří jeden úhel a při posuvu zleva doprava (vzad) se změří úhel o  $180^\circ$  větší, poté se vzorek otočí o  $90^\circ$  a změří stejným způsobem, obr 27.



### 27 Měření přístrojem KES-FB4-AUTO-A

Velikost vzorku je 20x20 cm, napětí aplikovaného vzorku: 20 gf/cm (400 gf na 20 cm délky vzorku) [ $1 \text{ gf/cm} = 0,98 \text{ N/cm}$ ]

Měření se postupně provádí třikrát, přičemž se mění pozice vzorku, posouvajícího se po pracovní desce, pracovní deska je ocelová, hladká a horizontálně uspořádaná. Oba konce vzorku jsou upevněny v čelistech konstantním napětím. Vzorek na pracovní desce se pohybuje nejprve zprava doleva (proces vpřed), poté následuje zpětný chod (proces vzad). Elektrické signály zachycené během prvních a posledních 5 mm jsou vynechávány a prostředních 20 mm je převedeno do integrálu a použito pro výpočet. Elektrické signály tření a drsnosti procházejí filtrem, kde se odstraňují vlny nízké frekvence pod 1 Hz (1 Hz odpovídá 1 mm vlnové délky). Jakmile proces měření skončí, jednotka ve snímači se nazdvihne, vrátí se do původní pozice a znovu se nastaví, zkušební vzorek se uvolní. Schématické znázornění mechanismu na měření koeficientu tření, střední odchylky koeficientu tření a na měření geometrické drsnosti povrchu, obr. 28. [13]



## 28 Schématické znázornění mechanismu

1-snímač pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření

2-zkušební vzorek

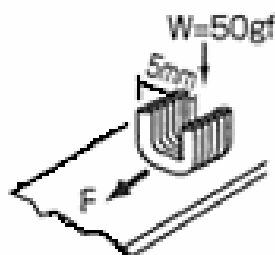
3-posuvná přítlačná čelist 1

4-posuvná přítlačná čelist 2

5-konstantní plocha snímače a zkušebního vzorku

6-pohonný motor

Snímače pro měření koeficientu tření a drsnosti povrchu jsou umístěny v horní části měřicího zařízení nad zkušebním vzorkem. K povrchu zkušebního vzorku jsou přibližovány automaticky, dokud se povrchu vzorku nedotknou. Snímač pro měření koeficientu tření a střední odchylky koeficientu tření, obr. 29, simuluje model dotyku prstu a měří na zkušebním vzorku tření. Pro získání spolehlivých dat je složen z deseti ohnutých drátů, přičemž jeden ocelový drát je o průměru 0,5 mm, při dotyku čidla působí síla 50 gf na zkušební vzorek.



## 29 Snímač pro měření koeficientu tření

Při zpracování dat je koeficient tření  $\mu$  [1] definován:

$$\mu = \frac{F}{P} \quad (38)$$

$F$ -třecí síla [N]

$P$ -standardní zatížení snímače působícího na plochu textilie [N]

$$\mu = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{L_{\max}} \mu dL \quad (39)$$

$\mu$ -koeficient tření [1]

$L_{\max}$ -posun po povrchu vzorku [mm]

Střední odchylka koeficientu tření je definována:

$$MMD = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{K_{\max}} |\mu - \bar{\mu}| dL \quad (40)$$

[14]

### 9.3 Přístroj na měření tření IDM C0008:



#### 30 Přístroj na měření tření IDM C0008

Tento snadno ovladatelný přístroj slouží k určování statického a dynamického koeficientu tření, papíru, tkanin, netkaných textilií a dalších materiálů plošných útvarů. Přístroj může změřit statický koeficient tření z klidové polohy vzorku, pokračovat v pohybu se vzorky a měřit kinetický koeficient tření. Přístroj se skládá z nehybného stolu, rozměry 170x160x760 [mm], hmotnost 10 [kg], po kterém se pohybují sáně, rozměry 150x300x6 [mm], rychlost pohybu saní je konstantní 150 +/-15 [mm/min].

Před procesem měření uživatel umístí na stůl vzorek zkoušeného materiálu a zvolí si jednotku, s kterou chce měření vyhodnocovat, na výběr má [kg], [lb], [N]. Stisknutím tlačítka „start“ se přístroj automaticky vynuluje, sáně vjedou do základní polohy a proces měření začíná. Kabelovým připojením jsou naměřená data zaznamenávána do softwaru Excel, okamžité výsledky v reálném čase zobrazuje dynamicky display, software umožňuje vstup více uživatelům pod jejich vstupními hesly, zobrazuje statistické analýzy a průměrné výsledky. Používání přístroje IDM C0008 je přesná, rychlá a spolehlivá metoda k určování koeficientu tření. [15]

#### **9.4 Přístroj na měření tření IDM C0041:**



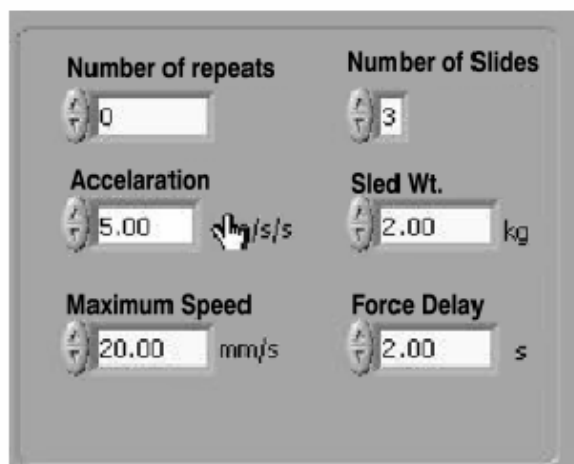
#### **31 Přístroj na měření tření IDM C0041**

Tento snadno ovladatelný přístroj slouží k určování statického a dynamického koeficientu tření, papíru, tkanin, netkaných textilií a dalších materiálů plošných útvarů, může změřit statický koeficient tření z klidové polohy a pokračovat ve vzájemném pohybu povrchů zkoušených těles a měřit dynamický koeficient tření. Přístroj se skládá z posunujících se saní, rozměry 60x60 [mm] +/- 0,1 [mm], hmotnost 800 [g] +/- 5 [g], a stabilního stolu, rozměry 200x500 [mm], hmotnost 15 [kg], na stole je upínací systém, který během testu chrání zkušební vzorek před proklouznutím. Sáně klesají na stůl přes mechanický systém, který pokládá saně tak, aby se oba zkoušené povrchy setkaly současně, to vylučuje nějakou operátorskou chybu, která by mohla ovlivňovat výsledky

---

\* [lb] .....jednotka zatížení-libra, odpovídá hodnotě 4,448 [N]

měření. Přístroj je navrhován pouze pro měření koeficientu tření, je výhodný pro kontrolu jakosti, umožňuje správné a opakované testování, umožňuje uživateli určení koeficientu tření pro jeho výrobek, měření je téměř bezhlučné. Přístroj je připojen k počítači, počítačový software, který podporuje operační systém Windows dovoluje operátorovi nastavit zkušební parametry, obr.32: počet opakování, počet skluzů, zrychlení, hmotnost saní, maximální rychlost, silové prodlení.

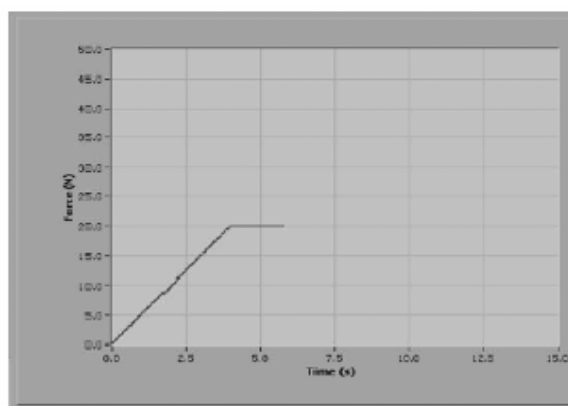


### 32 Možnost nastavení parametrů

Jestliže operátor neumí nastavit příslušné parametry, systém automaticky nastaví parametry specifikované podle normy ISO 15359, operátor má také k dispozici možnost nahrávat vzorkovou evidenci, kde má data uložena například pod operátorským jménem, vlastnosti, číslo vzorku a datum může nahrávat zapisovací zařízení pro budoucí odkaz. Když jsou všechny významné údaje o vzorku vybrány a nahrány, nastaví se příslušné parametry měření a zkoušený vzorek se upne do jednoduchého upínacího systému. Při kontrolním kliknutí myši se uvede hnací mechanismus do pohybu a měření začíná, software je pro uživatele přehledný, provází ho přes všechny procesy, včetně přijmutí nebo nepřijmutí každého testu, připouští i chyby, například vadný vzorek, chyba je vymazána a není nahrávána do konečných výsledků. Software nahrává vybrané výsledky a zobrazuje graf síly za čas, graf může být k dispozici jako porovnání v dalších testech, obr 33. [16]\*

---

\* ISO 15359... norma stanovující statický a dynamický koeficient tření metodou nakloněné roviny pro papír a lepenku



### 33 Výsledky měření v grafu

#### 9.5 Přístroj na měření tření IDM C0045:



### 34 Přístroj na měření tření IDM C0045

Tento přístroj je užíván k určování statického koeficientu tření nejvíce u obalových materiálů, papíru, plastů, folií a netkaných textilií. Hlavní části přístroje jsou broušená podložka a saně, přístroj funguje na principu nakloněné roviny, měří úhel, při kterém začnou povrchy zkušebních materiálů klouzat jeden po druhém. Rovina se svažuje v poměru  $1,5^\circ \pm 0,5 [^\circ/\text{s}]$ , první zaznamenání pohybu saní je zaznamenáno čidlem, zastaví se pohyb roviny a zapíše úhel sklonu. Test je opakovaný a zaznamenává se poklesový úhel, koeficient tření je numerický ekvivalent tangenty tohoto úhlu. Pohon sklonu nakloněné roviny je uskutečněn krokovým motorem, broušená podložka i saně jsou vyměnitelné, výhodou přístroje je jeho malá hmotnost, váží jen 5 [kg]. [17]

## 9.6 Přístroj na měření tření Twing-albert model 225-1:



### 35 Twing-albert model 225-1:

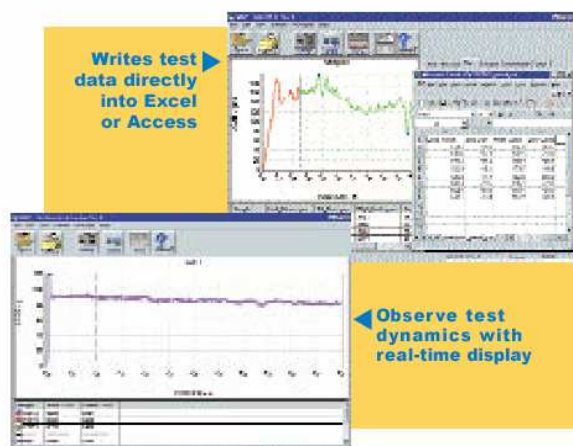
Přístroj slouží k měření statického a dynamického koeficientu tření a ke zkoušení pevnosti lepených spojů, koeficient tření měří podle ASTM a dalších mezinárodních norem, je ideální pro ověřování kluzných a třecích vlastností folií, papíru a textilií, ověřuje a hodnotí účinek úprav a přísad navrhovaných pro zmenšení tření plošných útvarů, umožňuje měřit tření i při vyšších teplotách až do 177 °C. Hlavní součástí přístroje jsou podložka a saně, které jsou odtahovány mechanickým zařízením po podložce, proces je automatický podle operátorského přednastavení, to zajišťuje objektivitu měření, síla je měřena čidlem přístroje, obr. 36.



### 36 Měření koeficientu tření filmů, papíru a textilií

Propojením přístroje s počítačem jsou výsledná data zapisována přímo do programu Excel nebo Access, hodnoty jsou zobrazeny jak číselně, tak i ve formě grafu v reálném

čase, obr 37. Zkušební křivky mohou být navzájem překryty pro okamžité srovnání mezi různými vzorky nebo s průměrnou odkazovou křivkou. Na zkušebních křivkách je možné zvýraznit detaily, nejvyšší a nejnižší hodnoty koeficientu tření atd. [18]<sup>\*</sup>



### 37 Zobrazení výsledných dat v Excelu, Accessu nebo na real-time displeji

---

<sup>\*</sup> American Society For Testing And Materials-Americké sdružení pro testování a materiály



## Závěr:

Třecí vlastnosti textilií jsou velmi důležité, a to jak při výrobě oděvů a textilních produktů, tak i při jejich používání a nošení. Někdy může být vysoké tření mezi tkaninami žádáno, v jiných případech nízké tření zajišťuje příjemný pocit. Vyšší tření je požadováno u potahů sedaček automobilů, u křesel a všude tam, kde by se mělo zabránit nepříjemnému klouzání mezi oděvem a jiným textilním produktem.

Součinitele smykového tření nelze spolehlivě určit z mechanických vlastností kompaktních pevných materiálů, ale jen experimentálně. Textilní materiály jako jsou příze, tkaniny, pleteniny atd. se chovají ještě méně předvídatelněji než kompaktní pevné materiály. Skutečný kontakt povrchu textilních výrobků (např. po oceli, keramice nebo po jiném textilním materiálu) je uskutečňován na mnoha malých místech kontaktem vláken na povrchu textilie. U textilních materiálů dále vstupuje do hry struktura vazby tkanin a pletenin a samozřejmě vliv aviváže a zušlechťovacích prostředků.

Jedním z cílů práce bylo popsání norem k měření koeficientu tření u plošných textilií, konkrétní normy na měření koeficientu tření u textilií ovšem neexistují, normy ISO a ASTM stanovují měření koeficientu tření pro jiné plošné materiály, např. ISO 15359 je norma stanovující statický a dynamický koeficient tření metodou nakloněné roviny pro papír a lepenku.

Hlavním úkolem této práce byl popis metod měření koeficientu tření a stick and slip efektu u plošných textilií. Výroba jednoduchého měřicího přístroje k určování koeficientu tření, na principu nakloněné roviny, je jednoduchá a cenově dostupná, ale měření koeficientu tření na těchto tribometrech jsou značně ovlivněna různými náhodnými vlivy a výsledky jednotlivých měření mívají značný rozptyl, je proto třeba výsledky měření stanovit na základě velkého počtu pokusů, přesnost měření na těchto tribometrech, je pouze asi 10 %. Oblast vývoje moderních automatických přístrojů k měření koeficientu, je velmi zanedbaná, na světovém trhu se mi podařilo nalézt jen tři firmy, zabývající se výrobou těchto přístrojů, jsou to firmy TWING-ALBERT, IDM a KATO-TECH CO.. Z těchto firem se jen japonská firma KATO-TECH CO. specializuje konkrétně na měření plošných textilních materiálů, přístroje dalších dvou značek slouží k měření koeficientu tření u více materiálů, např. papíru, plastů, folií, ale dají se použít i k měření u tkanin a netkaných textilií. Automaty dokáží výsledná data přenášet do počítačového software a statisticky je vyhodnocovat. Nevýhodou těchto

přístrojů je jejich vyšší cena. Zajímavou možností k měření koeficientu tření je použití dynamometru INSTROM, popisu možných schémat na tomto přístroji je v práci věnována celá kapitola. Výhodou této možnosti je všestrannost použití dynamometru, uživatel nemusí zakoupit přístroj určený konkrétně k měření koeficientu tření, ale stačí mu investovat do několika dalších součástí. Ovšem, jak dynamometr, tak i měřící automaty k měření jsou poměrně velké laboratorní přístroje, jejich použití je omezené na prostory laboratoře. Vývoj v oblasti měření koeficientu tření u textilií by měl směřovat k zmenšení velikosti měřících přístrojů, nejlépe až do kapesní podoby. Měly by být konstruované k rychlému použití a okamžitému vyhodnocování dat.

## Seznam použité literatury:

- [1] Strutex-8. Národní konference, 2002
- [2] Vlasáková, H. :Hodnocení vlastností délkových a plošných textilií
- [3] Horák Z. , Krupka F. , Šindelář V. :Technická fyzika, Praha,1960
- [4] Sodomka L. :Anizotropie netkaných textilií, Textil 35,1980
- [5] Kouřilová M. :Měření tření plošných textilií [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2001
- [6] Oliva H., Olexa J.: Úvod do teorie tření, opotřebení a kontaktního porušování, ČVUT Praha, 1978
- [7] Jiří Militký: Textilní vlákna, Liberec, Zář 2002
- [8] Radek Vávra a kolektiv: Strojnické tabulky, Praha, 1983
- [9] Jiří Mikulčák a kolektiv:Matematické, fyzikální a chemické tabulky, Statní pedagogické nakladatelství Praha, 1988
- [10] Radko Kováč a Filip Konečný: Woven Fabric-To-Fabric Slip, 2<sup>nd</sup> International textile, clothing and design conference-Magic World of Textiles, Dubrovnik, Croatia
- [11] Howell, H. G., Mieszkis, K. W., Tabor, D.: Friction in Textiles, Butterworths Scientific Publications, London 1959
- [12] <http://www.keskato.co.jp/english/product/kesse.html> (Datum 04.04.2006)
- [13] KESSFFB4-AUTO-A, Automatic surface Tester, User's Manual
- [14] <http://www.keskato.co.jp/english/product/kesfb4.html> (04.04.2006)
- [15][http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/IDMInstruments/Coefficient\\_of\\_Friction\\_Tester\\_C0008/13566/1](http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/IDMInstruments/Coefficient_of_Friction_Tester_C0008/13566/1) (04.04.2006)
- [16] <http://www.idminstruments.com.au/pdfiles/c0041.pdf> (04.04.2006)
- [17] <http://www.idminstruments.com.au/pdfiles/c0045.pdf> (04.04.2006)
- [18] [http://www.thwingalbert.com/PDF/2005\\_PDF/Friction\\_Peel.pdf](http://www.thwingalbert.com/PDF/2005_PDF/Friction_Peel.pdf) (04.04.2006)
- [19] [http://www.thwingalbert.com/PDF/2005\\_PDF/1270pca.PDF](http://www.thwingalbert.com/PDF/2005_PDF/1270pca.PDF) (04.04.2006)
- [20] Fárská Lea: Zařízení pro měření koeficientu tření u textilií [Diplomová práce], TU Liberec, fakulta textilní, 2004

## Seznam obrázků:

1 Vliv reliéfu povrchu na třecí odpor.....	13
2 Tribologický systém .....	14
3 Silové poměry u vlečného tření .....	15
4 Skutečná plocha doteku .....	16
5 Rozložení sil při valivém tření.....	17
6 Rovnováha sil u valivého tření .....	18
7 Tření opásáním .....	19
8 Tření tkaniny o tkaninu [10] .....	21
9 Těleso smykající se po nakloněné rovině .....	22
10 Vznik stick and slip efektu.....	24
11 Měření s Kelvinovým elastickým modelem .....	26
12 Silové účinky na nakloněné rovině.....	28
13 Sklonný tribometr .....	29
14 Vodorovný tribometr .....	31
15 Měření tření přístrojem Bowdena-Lebena .....	32
16 Měření tření principem Bowdena-Lebena .....	32
17 Měření koeficientu tření na dynamometru.....	33
18 Měření koeficientu tření na dynamometru s přidáním protizávaží.....	34
19 Nahrazení protiváhy pružinou .....	35
20 Dvě stýkající se roviny těles, z nichž jedna klouže po druhé, rotující rovině .....	36
21 Rovina klouzající proti směru rotujícího válce nebo válců .....	37
22 Měření Eulerova tření na dynamometru .....	38
23 Měření Eulerova tření mezi pohyblivými kladkami .....	39
24 KATO TECH CO.,LTD. (KES-SE) .....	40
25 výsledné hodnoty měření .....	40
26 KATO TECH CO., LTD (KES-FB4-AUTO-A) .....	41
27 Měření přístrojem KES-FB4-AUTO-A .....	42
28 Schématické znázornění mechanismu .....	43
29 Snímač pro měření koeficientu tření.....	43
30 Přístroj na měření tření IDM C0008.....	44
31 Přístroj na měření tření IDM C0041.....	45

32	Možnost nastavení parametrů.....	46
33	Výsledky měření v grafu .....	47
34	Přístroj na měření tření IDM C0045.....	47
35	Twing-albert model 225-1: .....	48
36	Měření koeficientu tření filmů, papíru a textilií .....	48
37	Zobrazení výsledných dat v Excelu, Accessu nebo na real-time displeji .....	49

## **Seznam grafů:**

Graf 1	Pilovitý průběh třecí síly .....	25
Graf 2	Chování třecí síly při použití Kelvinova elastického modelu .....	26